

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-170-183>

Прогнозирование и ранняя диагностика бронхиальной астмы у работников, специализирующихся на аргонной сварке на основе нечетких математических моделей

И. Ю. Григоров¹ ✉, Л. В. Стародубцева¹, С. П. Серегин¹, Л. В. Шульга¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: grigorov.ighor@mail.ru

Резюме

Целью исследования является разработка нечетких математических моделей прогнозирования и ранней диагностики бронхиальной астмы, развивающейся под воздействием токсических веществ, выделяемых при аргонной сварке, обеспечивающих приемлемое для практической медицины качество принятия решений.

Методы. В работе использован метод синтеза нечетких математических моделей прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний, провоцируемых действием промышленных ядохимикатов, разработанный в ЮЗГУ на базе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, позволяющий учитывать мультипликативную природу связей риска появления и развития профессиональных заболеваний с концентрацией и временем воздействия вредных химических веществ.

Результаты. С помощью выбранного метода были получены нечеткие гибридные модели прогнозирования и ранней диагностики производственной бронхиальной астмы у работников сварочных производств, в которых, помимо воздействий на организм человека озона, пылевых и фиброгенных факторов риска, учитываются неблагоприятные экологические и эргономические факторы в сочетании с особенностями индивидуального здоровья.

В ходе моделирования и экспертного оценивания было показано, что полученная математическая модель обеспечивает уверенность в правильном прогнозе появления производственной бронхиальной астмы у работников сварочных производств не ниже 0,85, а ранней диагностики – не ниже 0,9.

Заключение. Получены гибридные нечеткие модели прогнозирования и ранней диагностики производственной бронхиальной астмы у работников сварочных производств, вызываемой наличием озона и фиброгенной пыли в сочетании с индивидуальными, экологическими и эргономическими факторами риска, качество работы которых было проверено на репрезентативных контрольных выборках. В ходе контрольной проверки было показано, что прогностическая модель обеспечивает диагностическую специфичность и чувствительность на уровне 0,87, а модель ранней диагностики – на уровне 0,92, что является хорошим результатом для рассматриваемого класса задач.

Ключевые слова: математические модели; нечеткая логика; производственная бронхиальная астма; прогнозирование; ранняя диагностика; профзаболевания; сварочное производство; озон; фиброгенная пыль.

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

Для цитирования: Прогнозирование и ранняя диагностика бронхиальной астмы у работников, специализирующихся на аргонной сварке на основе нечетких математических моделей / И. Ю. Григоров, Л. В. Стародубцева, С. П. Серегин, Л. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 2. С. 170–183. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-170-183>.

Поступила в редакцию 10.04.2023

Подписана в печать 07.05.2023

Опубликована 30.06.2023

© Григоров И. Ю., Стародубцева Л. В., Серегин С. П., Шульга Л. В., 2023

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023; 13(2): 170–183

Prediction and Early Diagnosis of Bronchial Asthma in Workers Specializing in Argon Welding Based on Fuzzy Mathematical Models

Igor Y. Grigorov¹ ✉, Lilia V. Starodubtseva¹,
Stanislav P. Seregin¹, Leonid V. Shulga¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: grigorov.ighor@mail.ru

Abstract

The purpose of research is to develop fuzzy mathematical models for predicting and early diagnosis of bronchial asthma developing under the influence of toxic substances released during argon welding providing an acceptable quality of decision-making for practical medicine

Methods. The paper uses the method of synthesis of fuzzy mathematical models of forecasting and early diagnosis of occupational diseases provoked by the action of industrial pesticides developed in the South-Eastern Federal University on the basis of the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules allowing to take into account the multiplicative nature of the links between the risk of occurrence and development of occupational diseases with the concentration and time of exposure to harmful chemicals.

Results. Using the chosen method, fuzzy hybrid models of forecasting and early diagnosis of industrial bronchial asthma in welding workers were obtained in which, in addition to the effects of ozone, dust and fibrogenic risk factors on the human body, unfavorable environmental and ergonomic factors combined with individual health characteristics are taken into account.

In the course of modeling and expert evaluation, it was shown that the obtained mathematical model provides confidence in the correct prognosis of the occurrence of industrial bronchial asthma in welding workers at least 0.85, and early diagnosis at least 0.9.

Conclusion. Hybrid fuzzy models of forecasting and early diagnosis of industrial bronchial asthma in welding workers caused by the presence of ozone and fibrogenic dust in combination with individual, environmental and ergonomic risk factors were obtained, the quality of which was tested on representative control samples. During the control check, it was shown that the prognostic model provides diagnostic specificity and sensitivity at the level of 0.87, and the early diagnosis model - at the level of 0.92, which is a good result for the class of tasks under consideration.

Keywords: mathematical models; fuzzy logic; industrial bronchial asthma; forecasting; early diagnosis; occupational diseases; welding production; ozone; fibrogenic dust.

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

For citation: Grigorov I. Y., Starodubtseva L. V., Seregin S. P., Shulga L. V. Prediction and Early Diagnosis of Bronchial Asthma in Workers Specializing in Argon Welding Based on Fuzzy Mathematical Models. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023; 13(2): 170–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-170-183>.

Received 10.04.2023

Accepted 07.05.2023

Published 30.06.2023

Введение

Современное сварочное производство представляет собой лидера среди загрязнителей воздуха рабочей зоны, как индивидуального работника, так и рабочей зоны предприятия. Самый большой вред сварка может нанести самому сварщику. Благодаря применению технических и санитарно-гигиенических мероприятий (совершенствование технологии сварки, применение вентиляции, разработка эффективных средств индивидуальной защиты органов дыхания), опасность основного «номенклатурного» заболевания сварщиков – пневмокониоза – уменьшилась, но не исчезла. Работники, специализирующиеся на аргонодуговой сварке, работают чаще в закрытых помещениях или кабинках, что способствует правильному процессу сварки. Аргонодуговая сварка по праву считается более «чистым» процессом в отношении сварочного аэрозоля по сравнению с другими видами сварки, однако не стоит забывать о негативном воздействии любого вида сварки на организм рабочего.

Одним из негативных факторов, оказывающих токсическое действие, является появляющийся в процессе сварки в среде аргона озон¹ [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8]. Под воздействием УФ-излучения электродуги озон образуется из кислорода воздуха. При высоких температурах озон не стабилен по отношению к другим веществам, поэтому наличие других газов, сварочных аэрозолей и пыли ускоряет разрушение озона до кислорода. Анализ исследований показывает, что

особенно много озона образуется при сварке светоотражающих поверхностей (сплавов алюминия, нержавеющей стали).

Озон зачастую при специальной оценки условий труда не идентифицируется, и предприятие не использует защиты от этого газа. Невыявлению озона способствуют, вероятно, следующие обстоятельства:

- озон не обнаруживается из-за погрешности проведения измерений;
- правильное и эффективное использование локальной вентиляции;
- озон быстро разрушается до его выявления.

Выявление озона и принятие мер защиты от него являются приоритетными задачами, так как озон – вещество 1-го класса опасности (чрезвычайно опасное вещество), по особенностям воздействия на организм человека относится к веществам с остронаправленным механизмом действия, его ПДК 0,1 мг/м³. К негативным последствиям воздействия озона можно отнести воспаление верхних дыхательных путей, заболевания легких, головные боли, боли в груди, раздражение глаз, сухость во рту, мужское бесплодие.

Можно сказать, что по мере снижения весовых концентраций сварочного аэрозоля в воздухе рабочих мест сварщиков-аргонщиков на смену широко распространенных поражений легких выявляется новая, опасная для рабочих угроза, которую идентифицируют как профессиональную бронхиальную астму. При прогнозировании диагноза «профессиональная бронхиальная астма»

¹ Григоров И. Ю. Методы и средства прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических

производств основе нечетких моделей принятия решений: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2020. 147 с.

(ПБА) важно учитывать отсутствие предшествующего анамнеза, т. е. отсутствие субклинического или клинического течения заболевания на момент начала работы в данных условиях. Профессиональная бронхиальная астма – это респираторный аллергоз, протекающий с обструкцией дыхательных путей, развивающейся на фоне воздействия производственных аллергенов.

Большинство современных исследований в области профпатологии, включая заболевания среди работников, специализирующихся на сварке нержавеющей стали в среде аргона, ориентировано в основном на статистический анализ уровня заболеваемости без синтеза прогностических и диагностических решающих правил.

Известен ряд работ, посвящённых оценке риска возникновения профессиональных заболеваний без учёта преобладающих видов сварки, индивидуальных особенностей организма и сопутствующих экзогенных и эндогенных факторов риска. Проведенный анализ показал, что такой подход значительно снижает потенциально достижимые возможности по оказанию качественной медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

Одним из действенных механизмов повышения качества медицинской помощи работникам, специализирующихся на аргонодуговой сварке, является надежное, точное и своевременное

выявление факторов риска с анализом последствий их воздействий на организм человека с целью повышения эффективности профилактики и лечения профессиональных заболеваний исследуемой категории специалистов.

Приняв во внимание накопленный на кафедре биомедицинской инженерии и собственный опыт, для достижения поставленной в работе цели было принято решение – использовать метод синтеза нечетких математических моделей прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний, провоцируемых действием промышленных ядохимикатов, разработанный в ЮЗГУ и в различных вариантах описанный в работах^{1, 2} [1; 2; 9; 10; 11; 12; 13] на базе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, позволяющий учитывать мультипликативную природу связей риска появления и развития профессиональных заболеваний с концентрацией и временем воздействия вредных химических веществ.

Описание методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил приводится в работах [14; 15; 16; 17; 18; 19; 20].

Материалы и методы

В работе решается задача разработки нечетких математических моделей прогнозирования и ранней диагностики профессиональной бронхиальной

¹ Григоров И. Ю. Методы и средства прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических производств основе нечетких моделей принятия решений: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2020. 147 с.

² Медников Д. А. Интеллектуальная система прогнозирования ишемических рисков у машинистов локомотивных бригад: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2021. 154 с.

астмы, развивающейся под воздействием паров озона (O_3) и фиброгенной пыли, выделяемых при аргоновой сварке в сочетании с другими существенными эндогенными и экзогенными факторами риска. Выбранный метод исследования базируется на методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), одним из основных элементов которых является функция принадлежности $\mu_{\ell}^d(x_j)$ к исследуемым классам состояний $\omega_{\ell} (\ell = 1, \dots, L)$ с базовой переменной, в качестве которой могут использоваться информативные признаки $(x_j) (j = 1, \dots, J)$, комплексные показатели Y_r , определяемые через функциональные зависимости от x_j комбинированные показатели Z_i , отражающие мультипликативное влияние вредных производственных факторов ($i = 1, 2, \dots, K$) на состояние здоровья и т. д. Верхний индекс d определяет тип решаемой задачи ($d = \Pi$ – прогноз; $d = P$ – ранняя диагностика; $d = Д$ – дифференциальный диагноз и т. д.) [14; 15; 16; 17; 18; 19; 20].

По аналогии с рекомендациями [1; 2; 9; 11; 12] для установления вклада вредных химических веществ в появление и развитие профессиональной бронхиальной астмы используется базовая переменная $Z_{\ell i}$, определяемая по формуле

$$z_{\ell i} = f_{\ell i} \left(\frac{C_i}{C_{\Pi i}} \right) \cdot f_{\ell i}^*(t_i), \quad (1)$$

где $C_{\Pi i}$ – ПДК вредных веществ ($ВВ_i$), выделяющихся в рабочую зону при сварке и резке металлов с идентификатором i ; C_i – средняя концентрация $ВВ_i$ за период наблюдения; t_i – время нахождения человека в контакте с $ВВ_i$; $f_{\ell i}(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния $ВВ_i$ с концентрацией C_i на появление и развитие заболеваний ω_{ℓ} с областью значения $[0, \dots, 1]$; $f_{\ell i}^*(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния времени воздействия $ВВ_i$ на появление и развитие патологии ω_{ℓ} с той же областью определения, что и $f_{\ell i}(\cdot)$.

Частная уверенность в возникновении и развитии профессиональных заболеваний ω_{ℓ} в соответствии с рекомендациями¹ [1; 9; 11; 12] определяется наборами функций принадлежности $\mu_{\ell}^d(Z_{\ell i})$ ($\ell = \Pi$ – профессиональная бронхиальная астма).

Уверенность UHR_{Π}^{Π} в прогнозе возникновения профессионального заболевания от факторов риска вредных веществ, находящихся в рабочих зонах сварочных производств, определяется нечеткой функцией:

$$UHR_{\Pi}^{\Pi} = Ag_{\Pi}^{\Pi} \left[\mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi i}) \right], \quad (2)$$

¹ Григоров И. Ю. Методы и средства прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических

производств основе нечетких моделей принятия решений: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2020. 147 с.

где Ag_{Π}^{Π} – агрегатор прогностических функций принадлежности для класса ω_{Π} ; $i = 1, 2, \dots$

Для ранних стадий профпатологии ω_{Π}

$$UHR_{\Pi}^p = Ag_{\Pi}^p [\mu_{\Pi}^p(Z_{\Pi_i})] \quad (3)$$

где Ag_{Π}^p – агрегатор диагностических функций принадлежности для класса ω_{Π} .

В качестве агрегирующих функций с учетом рекомендаций¹ [1; 2; 9; 10; 11; 12; 13] выбрана модифицированная формула Е. Шортлифа:

$$UHR_{\Pi}^d(q+1) = UHR_{\Pi}^d(q) + \mu_{\Pi}^d(Z_{\Pi_{i+1}})[1 - UHR(q)], \quad (4)$$

где q – номер итерации $UHR_{\Pi}^d(1) = \mu_{\Pi}^d(Z_{\Pi_1})$.

Анализ литературы и собственные исследования показали, что кроме промышленных аэрозолей на появление и развитие профессиональной бронхиальной астмы оказывает целый ряд существенных экзогенных и эндогенных факторов риска EFR_{Π}^d , таких как экологические, эргономические и индивидуальные факторы риска, которые определяются в результате опросов, осмотров, лабораторных и инструментальных методов исследования [1; 9; 11; 12]. В работах [1; 2; 9; 10; 11; 12; 13] достаточно подробно описаны механизмы расчета EFR_{Π}^d для различных типов профессиональных заболеваний.

Совокупный учет составляющих UHR_{Π}^d и EFR_{Π}^d дает финальную нечеткую модель принятия решений вида [2; 9; 19; 20]:

$$UF_{\Pi}^d = UHR_{\Pi}^d + EFR_{\Pi}^d - UHR_{\Pi}^d \cdot EFR_{\Pi}^d. \quad (5)$$

Результаты и их обсуждение

На экспертном уровне было согласовано решение: в качестве производственных факторов риска появления и развития профессиональной бронхиальной астмы выбрать пары O_3 (концентрация C_1) и фиброгенную пыль (концентрация C_2), для которых функции

$f_{\Pi_i} \left(\frac{C_i}{C_{\Pi_i}} \right)$ и $f_{\Pi_i}^*(t_i)$ модели (1) определя-

ются следующими выражениями:

$$f_{\Pi_1} \left(C_1 / C_{\Pi_1} \right) = \begin{cases} 0,056 X_1^2, & \text{если } X_1 \leq 3, \\ 1 - 0,056(X_1 - 6)^2, & \text{если } 3 \leq X_1 < 6, \\ 1, & \text{если } X_1 \geq 6, \end{cases}$$

$$f_{\Pi_1}^*(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 2, \\ 0,00255(t - 2)^2, & \text{если } 2 \leq t < 16, \\ 1 - 0,00255(t - 30)^2, & \text{если } 16 \leq X_1 < 30, \\ 1, & \text{если } t \geq 30, \end{cases}$$

$$f_{\Pi_2} (C_2 / C_{\Pi_2}) = \begin{cases} 0,03(X_2)^2, & \text{если } X_2 < 4, \\ 1 - 0,03(X_2 - 8)^2, & \text{если } 4 \leq X_1 < 8, \\ 1, & \text{если } X_2 \geq 8, \end{cases}$$

¹ Медников Д. А. Интеллектуальная система прогнозирования ишемических рисков у машинистов

локомотивных бригад: дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2021. 154 с.

$$f_2^*(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 4, \\ 0,0022(t-4)^2, & \\ \text{если } 4 \leq t < 19, \\ 1-0,0022(t-34)^2, & \\ \text{если } 19 \leq X_1 < 34, \\ 1, & \text{если } t \geq 34, \end{cases}$$

где $X_1 = C_1/C_{\Pi 1}$; $X_2 = C_2/C_{\Pi 2}$.

Функции принадлежности к классу ω_{Π} для выражения (2) определяются аналитическими выражениями следующего вида:

$$\mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_1}) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_{\Pi_1} < 0,1, \\ 3,26(Z_{\Pi_1} - 0,1)^2, & \\ \text{если } 0,1 \leq Z_{\Pi_1} < 0,45, \\ 0,8 - 3,26(Z_{\Pi_1} - 0,8)^2, & \\ \text{если } 0,45 \leq Z_{\Pi_1} < 0,8, \\ 0,8, & \text{если } Z_{\Pi_1} \geq 0,8, \end{cases}$$

$$\mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_2}) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_{\Pi_2} < 0,2, \\ 2,04(Z_{\Pi_2} - 0,2)^2, & \\ \text{если } 0,2 \leq Z_{\Pi_2} < 0,55, \\ 0,5 - 2,04(Z_{\Pi_2} - 0,9)^2, & \\ \text{если } 0,55 \leq Z_{\Pi_2} < 0,9, \\ 0,5, & \text{если } Z_{\Pi_2} \geq 0,9. \end{cases}$$

Применение функций $\mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_1})$ и $\mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_2})$ увеличивает уверенность в прогнозе появления и развития профессиональной бронхиальной астмы, поэтому уверенность в ω_{Π} по факторам риска химические вещества в промышленных аэрозолях сварочных производств (модель 4) определяется выражением

$$UHR_{\Pi}^{\Pi} = \mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_1}) + \mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_2}) - \mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_1}) \cdot \mu_{\Pi}^{\Pi}(Z_{\Pi_2}). \quad (6)$$

Составляющая EFR_{Π}^{Π} модель 5 определяется выражением

$$EFR_{\Pi}^{\Pi}(p+1) = EFR_{\Pi}^{\Pi}(p) + \mu_{\Pi}^{\Pi}(X_{p+1})[1 - EFR_{\Pi}^{\Pi}], \quad (7)$$

где функции принадлежности $\mu_{\Pi}^{\Pi}(X_{p+1})$ и данных опросов, осмотров и инструментальных исследованиям определяются выражениями, приведенными в работах.

Финальная уверенность в прогнозе появления и развития профессиональной бронхиальной астмы UF_{Π}^{Π} определяется выражением (5).

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что прогностическая уверенность модели (7) превышает величину 0,85 при делении на 2 класса: заболит – не заболит ПБА.

Для определения ранней стадии заболевания ПБА модель (5) конкретизируется выражением

$$UF_{\Pi}^p(q+1) = UF_{\Pi}^p(q) + D_{\Pi}^p(q+1)[1 - UF_{\Pi}^p(q)], \quad (8)$$

где $UF_{\Pi}^p(1) = D_{\Pi}^p(1) = \mu_{\Pi}^p(ER_p)$; $D_{\Pi}^p(2) = \mu_{\Pi}^p(UF_{\Pi}^{\Pi})$; $D_{\Pi}^p(3) = \mu_{\Pi}^p(U_{01}^{\Pi})$.

Функция принадлежности $\mu_{\Pi}^p(ER_p)$ определяется по величине энергетического разбаланса меридиана легкого по методике, описанной в работах [7; 8; 21; 22].

Функция принадлежности $\mu_{\Pi}^p(UF_{\Pi}^{\Pi})$ определяется по базовой переменной, вычисляемой по формуле (5).

Функция принадлежности $\mu_{\Pi}^p(U_{01}^{\Pi})$ определяется по данным опросника, характеризующего наличие ранних стадий профессиональной бронхиальной астмы (удушье, кашель, экспираторная одышка, свистящее дыхание).

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что уверенность в наличии ранних стадий ПБА (модель 8) превышает величину 0,9.

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания достаточно сильно зависят от субъективного экспертного мнения, что требует объективизации с использованием статистического анализа на репрезентативных контрольных выборках.

В ходе статистических контрольных испытаний на репрезентативных контрольных выборках (по 100 человек на каждый из контролируемых классов состояний) было установлено, что прогностическая модель (7) обеспечивает диагностические специфичность и чувствительность на уровне 0,87, а модель ранней диагностики (8) – на уровне 0,92, что является хорошим результатом для рассматриваемого класса задач.

При сварке нержавеющей стали или алюминия в среде защитного газа аргона обнаруживается превышение ПДК по озону. Наличие и правильное использование локальной вытяжки снижает концентрацию, но часто не позволяет достичь безопасного уровня. Поэтому не

стоит забывать, что для максимальной защиты органов дыхания сварщика необходимо дополнительно использовать средства индивидуальной защиты, причем не только от твердой составляющей сварочного аэрозоля, но и от газов, выделяющихся при сварке, в т. ч. озона. К таким СИЗОД могут относиться специальные фильтрующие полумаски (с дополнительной защитой от озона), полумаски из изолирующих материалов с фильтрами, а также системы с принудительной подачей воздуха.

В результате проведенных исследований было установлено, что задачи прогнозирования и ранней диагностики профессиональной бронхиальной астмы относят к классу плохо формализуемых задач, которые следует решать, используя технологию мягких вычислений. Методика решения задач со схожей структурой данных в Юго-Западном государственном университете показывает, что удобно для выбранной в работе задачи использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил. Используя представленную методологию, с учетом специфики вредных факторов риска сварочных производств, в сочетании с другими экзогенными и эндогенными факторами риска были получены нечеткие математические модели, позволяющие решать поставленные в работе задачи с приемлемым для профпатологии качеством.

Выводы

Повышенный уровень профессиональной заболеваемости объясняется интенсивной химизацией производства

и постоянным появлением новых промышленных аллергенов. Разработкой медицинской стратегии в отношении профессиональной бронхиальной астмы занимаются специалисты в области профпатологии. Предлагаемые математические модели позволяют обеспечивать прогноз появления и развития профессиональной бронхиальной астмы с уверенностью не ниже 0,85, определять

раннюю стадию этой патологии с уверенностью не хуже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику врачей профпатологов.

Полученные математические модели следует использовать в медицинской практике как в виде программного обеспечения смартфонов и планшетных компьютеров, так и в составе мощных систем поддержки принятия решений, включая телемедицинские системы.

Список литературы

1. Корневский Н. А., Григоров И. Ю., Разумова К. В. Математические модели прогнозирования возникновения и развития бронхиальной астмы у работников гальванических цехов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей по итогам VI Международной научной конференции. М.: Конверт, 2019. С. 61–63.
2. Метод синтеза нечетких моделей и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических производств / Н. А. Корневский, И. Ю. Григоров, Т. Н. Говорухина, Р. А. Крупчатников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 3. С. 163–169.
3. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве / А. В. Фролов, В. А. Лепихова, Н. В. Ляшенко, С. Л. Пушенко, Н. Н. Чибинев, А. С. Шевченко. Ростов н/Д: Феникс, 2009. 566 с.
4. Трушкова Е. А., Ладная Е. В. Особенности профессиональных заболеваний электросварщиков при выполнении сварочных работ на производстве // Молодой ученый. 2016. № 18.1 (122.1). С. 25–27.
5. Глебова Е. В. Производственная санитария и гигиена труда. М.: Высшая школа, 2005. 382 с.
6. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Введ. 2005-11-01. М.: Издательство стандартов, 2005. 133 с.
7. Контроль динамики развития ишемических процессов в сердце по энергетическому разбалансу меридианных структур организма / Н. А. Корневский, И. Ю. Григоров, К. В. Разумова, В. А. Горбунов, В. В. Дмитриева, С. В. Дегтярев // Медицинская техника. 2020. № 1 (319). С. 47–49.
8. Корневский Н. А., Григоров И. Ю., Разумова К. В. Метод прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний по энергетическому разбалансу меридианных структур организма // Известия Юго-Западного государственного университета.

Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 2 (31). С. 75–90.

9. Экспертная система контроля состояния пациентов, контактирующих с промышленными ядохимикатами / С. А. Филист, Р. И. Сафронов, Л. В. Шульга, Г. В. Сипливый, Е. В. Крикунова, Н. А. Милостная // Медицинская техника. 2021. № 4. С. 30–32.

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

11. Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса / Р. В. Степашов, Н. А. Корневский, А. В. Серебровский, Т. Н. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии им. И. И. Иванова, 2018. 235 с.

12. Нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний сельскохозяйственных рабочих, контактирующих с ядохимикатами / Н. А. Корневский, Р. В. Степашов, Р. А. Крупчатников, В. В. Аксёнов, Н. Л. Коржук // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6, № 3(22). С. 5–18.

13. Корневский Н. А., Медников Д. А., Стародубцев В. В. Метод синтеза моделей прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников локомотивных бригад // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2020. Т. 19, № 3. С. 140–154.

14. Корневский Н. А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования // Телекоммуникации. 2006. № 6. С. 25–31.

15. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1(289). С. 33–35.

16. Корневский Н. А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2005. Т. 4, № 1. С. 12–20.

17. 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.

18. Корневский Н. А., Башир А. С., Горбатенко С. А. Синтез гибридных нечетких правил для прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в экологически неблагоприятных регионах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 4. С. 69–73.

19. Кореневский 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.
20. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий / Н. А. Кореневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
21. Кореневский Н. А., Буняев В. В., Яцун С. М. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Новочеркасск, 2003. 206 с.
22. Кореневский Н. А., Крупчатников Р. А. Информационно-интеллектуальные технологии в рефлексодиагностике и рефлексотерапии. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

References

1. Korenevsky N. A., Grigorov I. Yu., Razumova K. V. [Mathematical models for predicting the occurrence and development of bronchial asthma in electroplating shop workers]. *Peredovye innovatsionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo. Sbornik nauchnykh statei po itogam VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of introduction into production. A collection of scientific articles based on the results of the VI International Scientific Conference]. Moscow, Konvert Publ., 2019, pp. 61–63. (In Russ.)
2. Korenevsky N. A., Grigorov I. Y., Govorukhina T. N., Krupchatnikov R. A. Metod sinteza nechetkikh modelei i rannei diagnostiki professional'nykh zabolevanii rabotnikov gal'vanicheskikh proizvodstv [Method of synthesis of fuzzy models and early diagnosis of occupational diseases of electroplating workers]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2019, vol. 18, no. 3, pp. 163–169.
3. Frolov A. V., Lepikhova V. A., Lyashenko N. V., Pushenko S. L., Chibinev N. N., Shevchenko A. S. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti i okhrana truda v stroitel'stve [Life safety and labor protection in construction]. Rostov-on-Don, Phoenix Publ., 2009. 566 p.
4. Trushkova E. A., Ladnaya E. V. Osobennosti professional'nykh zabolevanii elektrosvarshchikov pri vypolnenii svarochnykh rabot na proizvodstve [Features of occupational diseases of electric welders when performing welding work in production]. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*, 2016, no. 18.1 (122.1), pp. 25–27.
5. Glebova E. V. Proizvodstvennaya sanitariya i gigiena truda [Industrial sanitation and occupational hygiene]. Moscow, Higher School Publ., 2005. 382 p.
6. R 2.2.2006-05. Gigiena truda. Rukovodstvo po gigienicheskoi otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsessa. Kriterii i klassifikatsiya uslovii truda. Vved. 2005-11-01 [Guide 2.2.2006-05. Occupational hygiene. Guidelines for the hygienic assessment of factors

of the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions. Introduction. 2005-11-01]. Moscow, Publishing House of Standards, 2005. 133 p.

7. Korenevsky N. A., Grigorov I. Y., Razumova K. V., Gorbunov V. A., Dmitrieva V. V., Degtyarev S. V. Kontrol' dinamiki razvitiya ishemicheskikh protsessov v serdtse po energeticheskomu razbalansu meridiannykh struktur organizma [Control of the dynamics of the development of ischemic processes in the heart by the energetic imbalance of the meridian structures of the body]. *Meditinskaya tekhnika = Medical Technique*, 2020, no. 1 (319), pp. 47–49.

8. Korenevsky N. A., Grigorov I. Y., Razumova K. V. Metod prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevaniy po energeticheskomu razbalansu meridiannykh struktur organizma [The method of forecasting and diagnosis of occupational diseases by the energy imbalance of the meridian structures of the body]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, vol. 9, no. 2 (31), pp. 75–90.

9. Filist S. A., Safronov R. I., Shulga L. V., Siplivy G. V., Krikunova E. V., Milostnaya N. A. Ekspertnaya sistema kontrolya sostoyaniya patsientov, kontaktiruyushchikh s promyshlennymi yadokhimikatami [Expert system for monitoring the condition of patients in contact with industrial pesticides]. *Meditinskaya tekhnika = Medical Equipment*, 2021, no. 4, pp. 30–32.

10. Korenevsky N. A., Safronov R. I., Shulga L. V., Siplivy G. V., Krikunova E. V. Ekspertnaya sistema prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevaniy rabotnikov elektroenergetiki [Expert system of forecasting and diagnostics of professional diseases of electric power industry workers]. *Meditinskaya tekhnika = Medical Equipment*, 2021, no. 6, pp. 48–51.

11. Stepashov R. V., Korenevsky N. A., Serebrovsky A. V., Govorukhina T. N. Ispol'zovanie tekhnologii myagkikh vychislenii dlya prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevaniy rabotnikov agropromyshlennogo kompleksa [The use of soft computing technologies for forecasting and diagnostics of occupational diseases of workers of the agro-industrial complex]. Kursk, State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov Publ., 2018. 235 p.

12. Korenevsky N. A., Stepashov R. V., Krupchatnikov R. A., Aksenov V. V., Korzhuk N. L. Nechetkie matematicheskie modeli prognozirovaniya i rannei diagnostiki professional'nykh zabolevaniy sel'skokhozyaistvennykh rabochikh, kontaktiruyushchikh s yadokhimikatami [Fuzzy mathematical models of forecasting and early diagnosis of occupational diseases of agricultural workers in contact with pesticides]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*, 2018, vol. 6, no. 3(22), pp. 5–18.

13. Korenevsky N. A., Mednikov D. A., Starodubtsev V. V. Metod sinteza modelei prognozirovaniya i rannei diagnostiki professional'nykh zabolevaniy rabotnikov lokomo-

tivnykh brigad [Method of synthesis of models for forecasting and early diagnosis of occupational diseases of locomotive crew workers]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* = *System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 140–154.

14. Korenevsky N. A. Proektirovanie sistem prinyatiya reshenii na nechetkikh setevykh modelyakh v zadachakh meditsinskoi diagnostiki i prognozirovaniya [Designing decision-making systems based on fuzzy network models in the tasks of medical diagnostics and forecasting]. *Telekommunikatsii* = *Telecommunications*, 2006, no. 6, pp. 25–31.

15. Korenevsky N. A. Ispol'zovanie nechetkoi logiki prinyatiya reshenii dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem [Using fuzzy logic of decision-making for medical expert systems]. *Meditsinskaya tekhnika* = *Medical Equipment*, 2015, no. 1(289), pp. 33–35.

16. Korenevsky N. A. Proektirovanie nechetkikh reshayushchikh setei, nastraivaemykh po strukture dannykh dlya zadach meditsinskoi diagnostiki [Design of fuzzy decision networks configurable by data structure for medical diagnostics tasks]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* = *System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 12–20.

17. Korenevsky N. A. Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and control of the state of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 2, pp. 99–103.

18. Korenevsky N. A., Bashir A. S., Gorbatenko S. A. Sintez gibridnykh nechetkikh pravil dlya prognozirovaniya, otsenki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya v ekologicheski neblagopriyatnykh regionakh [Synthesis of hybrid odd rules for forecasting, asse ssment and management of health in economically unfavorable regions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 4, pp. 69–73.

19. Korenevsky N. A., Rodionova S. N., Khripina I. I. Sintez gibridnykh nechetkikh pravil dlya prognozirovaniya, otsenki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya v ekologicheski neblagopriyatnykh regionakh [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. *Stary Oskol, TNT*, 2019. 472 p.

20. Korenevsky N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovsky V. I. Otsenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchikhsya na osnove gibridnykh intellektual'nykh tekhnologii [Assessment and management of students' health on the basis of hybrid intellectual technologies]. *Stary Oskol, TNT Publ.*, 2016. 472 p.

21. Korenevsky N. A., Bunyaev V. V., Yatsun S. M. Komp'yuternye sistemy rannei diagnostiki sostoyaniya organizma metodami refleksologii [Computer systems for early diagnosis of the state of the body by methods of reflexology]. Novocherkassk, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov Publ., 2003. 206 p.

22. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R. A. Infomatsionno-intelektual'nye tekhnologii v refleksodiagnostike i refleksoterapii [Information and intellectual technologies in reflexology and reflexotherapy]. Stary Oskol, TNT Publ., 2013. 528 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Григоров Игорь Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: grigorov.ighor@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6207-8194

Igor Y. Grigorov, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: grigorov.ighor@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6207-8194

Стародубцева Лилия Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: lilja-74@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-6803-298X

Lilia V. Starodubtseva, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: lilja-74@inbox.ru, ORCID: 0000-0001-6803-298X

Серегин Станислав Петрович, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: seregin.stanislaw2011@yandex.ru

Stanislav P. Seregin, Dr. of Sci. (Medical), Professor, Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: seregin.stanislaw2011@ yandex.ru

Шульга Леонид Васильевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: otios@mail.ru

Leonid V. Shulga, Dr. of Sci. (Medical), Professor of the Department of Occupational Safety and Environment, Southwestern State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: otios@mail.ru