

7. Medich Dzh. *Statisticheski optimal'nyye lineynyye otsenki i upravleniye* [Statistically optimal estimates and management]. Moscow, Energiya Publ., 1973. 440 p.
8. Yantsevich A. A. Nestatsionarnyye posledovatel'nosti v gil'bertovom prostranstve. I Korrelyatsionnaya teoriya [Non-stationary sequences in Hilbert space. I Correlation theory]. *Teoriya funktsiy, funktsional'nyy analiz i ikh prilozheniya* [Theory of functions, functional analysis and their applications]. 1986, Vol. 45, pp. 139–141.
9. Cheremskaya N. V. Posledovatel'nosti v gil'bertovom prostranstve beskonечноgo ranga nestatsionarnosti [Sequences in Hilbert space of infinite nonstationarity rank]. *Visnyk Kharkivsk'ogo universytetu. Ser. : Matematyka, prykladna matematyka i mekhanika* [Bulletin of the Karazin University. Series: Mathematics, applied mathematics and mechanics]. 1999, no. 444, pp. 157–161.
10. Loeyv M. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow, Izd-vo inostr. lit-ry Publ., 1962. 719 p.
11. Gikhman I. I., Skorokhod A. V. *Vvedeniye v teoriyu sluchaynykh protsessov* [Introduction to the theory of random processes]. Moscow, 1977. 654 p.
12. Ivakhnenko A. G. *Dolgosrochnoye prognozirovaniye i upravleniye slozhnyimi sistemami* [Long-term forecasting and random system management]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975. 276 p.
13. Ivakhnenko A. G. *Predskazaniye sluchaynykh protsessov* [Prediction of random processes]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1975. 197 p.
14. Levin B. R., Shvarts V. *Veroyatnostnyye modeli i metody v sistemakh svyazi i upravleniya* [Probabilistic models and methods in communication and management systems]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1985. 312 p.
15. Fal'kovich S. Ye., Ponomarev V. I., Shkvarko YU. V. *Otimal'nyy priyem prostranstvenno-vremennykh signalov v radiokanalakh s rasseyaniyem* [Optimal reception of space and time signals in radio channels with scattering]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 296 p.

Received (Надійшло) 26.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Черемська Надія Валентинівна (Черемская Надежда Валентиновна, Cheremskaya Nadezhda Valentinovna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (050) 225-15-44; e-mail: cheremskaya66@gmail.com.

УДК 681.518

doi: 10.20998/2222-0631.2020.1.17

Н. О. ЧІКІНА, І. В. АНТОНОВА, Е. М. СОЛОШЕНКО

СИСТЕМНИЙ МОДУЛЬ «РЕЗИСТЕНТНІСТЬ» НЕЧІТКОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ

Системний модуль «Резистентність» експертної системи з нечітким логічним виведенням побудовано за результатами якісного та кількісного аналізу професійних ризиків стану здоров'я робочих підприємств хіміко-фармацевтичної галузі Харкова та Харківської області. Модуль «Резистентність» є складовою частиною нечіткої експертної системи «РИЗИК» оцінки ризику розвитку професійно обумовлених захворювань. Якісний аналіз ризиків надав можливість ідентифікувати найбільш впливові на стан здоров'я фактори ризику. Запропоновано метод кількісної оцінки професійних ризиків в умовах неповноти інформації на основі аналізу кривих оцінки резистентності гомеостазу. Метод може бути використаний для диференціації рівнів ризику розвитку широкого кола захворювань.

Ключові слова: нечітка експертна система, якісний та кількісний аналіз ризику, професійні ризики, криві резистентності гомеостазу.

Н. А. ЧИКИНА, И В. АНТОНОВА, Э. Н. СОЛОШЕНКО

СИСТЕМНЫЙ МОДУЛЬ «РЕЗИСТЕНТНОСТЬ» НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ

Системный модуль «Резистентность» экспертной системы с нечетким логическим выводом построен по результатам качественного и количественного анализа профессиональных рисков состояния здоровья рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли Харькова и Харьковской области. Модуль «Резистентность» является составной частью нечеткой экспертной системы «РИСК» оценки риска развития профессионально обусловленных заболеваний. Качественный анализ рисков дал возможность идентифицировать факторы риска, оказывающие наибольшее влияние на состоянии здоровья. Предложен метод количественного анализа профессиональных рисков в условиях неполноты информации на основе кривых оценки резистентности гомеостаза. Метод может быть использован для дифференциации уровней риска развития широкого круга заболеваний.

Ключевые слова: нечеткая экспертная система, качественный и количественный анализ риска, профессиональные риски, кривые резистентности гомеостаза.

N. A. CHIKINA, I. V. ANTONOVA, E. N. SOLOSHENKO

«RESISTANCE» SYSTEM MODULE OF PROFESSIONAL RISK FUZZY EXPERT SYSTEM

The «Resistance» system module of an expert system with a fuzzy logical output is based on the results of the qualitative and quantitative analysis of the occupational health risks of the chemical and pharmaceutical industries workers in Kharkov and Kharkov region. The «Resistance» module is an integral part of the «RISK» fuzzy expert system for assessing the risk of developing professionally caused diseases. Qualitative risk analysis made it possible to identify risk factors that have the greatest impact on the health status. A method is proposed for a quantitative analysis of occupational risks under conditions of incomplete information on the basis of curves for assessing the resistance of homeostasis. The method can be used to differentiate risk levels for the development of a wide range of diseases.

Key words: fuzzy expert system, qualitative and quantitative risk analysis, professional risks, homeostasis resistance curves.

© Н. О. Чікіна, І. В. Антонова, Е. М. Солошенко, 2020

Вступ. Дані моніторингу [1] стану здоров'я робітників підприємств хіміко-фармацевтичної промисловості свідчать про високий рівень захворюваності на *алергодерматози* та інші *шкіряні захворювання*, що, у свою чергу, може привести до збільшення кількості *професійно обумовлених захворювань* (ПОЗ).

Появу й удосконалення автоматизованих систем для масових обстежень населення не можна розглядати у відриві від процесів, що пов'язані із проникненням комп'ютерних технологій в лікарське мислення. Якщо на початку розвитку *медичної кібернетики* мова йшла про створення *експертних систем* для *диференціальної діагностики захворювань* зі схожою симптоматикою, то в останні роки виникає необхідність створення *автоматизованих інформаційних систем-порадників лікаря* [2].

Побудова моделей, що використовують міркування людини, й застосування їх у комп'ютерних системах являє собою одну з найважливіших науково-технічних проблем. При кількісному описі й побудові моделей біологічних об'єктів доцільно, а в ряді випадків – і необхідно, використовувати здатність людського інтелекту приймати практично корисні рішення в умовах неповної й невизначеної (нечіткої) інформації для того, щоб адекватно врахувати специфіку цих об'єктів. Потужним інструментом спільного вирішення цих проблем є математичний апарат нечіткої логіки, основи якого були запропоновані Л. Заде ще в 1965 році [3]. Це підштовхнуло дослідників до створення *нечітких експертних систем* (НЕС).

Логіко-лінгвістичні методи опису нечітких систем засновані на тому, що поведінка досліджуваної системи описується природною мовою (або близькою до природної) в термінах лінгвістичних змінних [4]. Вхідні й вихідні параметри системи є лінгвістичними змінними, а якісний опис процесу задається сукупністю найпростіших правил наступного виду: L_j : якщо \tilde{A}_j , то \tilde{B}_j , ($j = \overline{1, k_0}$), де \tilde{A}_j й \tilde{B}_j – нечіткі підмножини, що задані на декартовому добутку універсальних множин вхідних і вихідних лінгвістичних змінних відповідно.

Традиційно в алергології задача ранньої діагностики захворювання пов'язана з аналізом *факторів ризику* (ФР), кількість яких за останні роки стрімко зростає. Наявність ФР і факторів схильності до різних алергічних захворювань, оцінка рівня адаптаційно-компенсаторних можливостей організму дає можливість із певним ступенем упевненості індивідуально прогнозувати можливість розвитку професійно обумовлених алергодерматозів [5, 6].

Якісний аналіз ризиків проводиться за для ідентифікації ризиків, виявлення можливих причин їх появи, аналіз передбачуваних наслідків та рекомендацій по їх усуненню. Таким чином, у процесі якісного аналізу виявляються усі можливі ризики, вплив яких на цільовий признак X_0 має місце. Кількісний аналіз ризиків дає можливість визначити ступінь впливу ФР на розвиток захворювань, проводити *ранжування факторів*. Існує кілька підходів до визначення *критерію кількісної оцінки ризику* (статистичні методи, метод експертного оцінювання, метод аналогій та ін.).

Задача кількісної оцінки професійного ризику розвитку ПОЗ у робітників підприємств пов'язана із груповою характеристикою, що визначає місце роботи на підприємстві з найбільшим ризиком розвитку ПОЗ. А оскільки в основі НЕС лежить принцип обчислення суперпозиції багатьох впливів на остаточний результат (*композиційне правило Заде*), то реалізація отриманих вирішальних правил на основі нечіткого логічного виведення дозволяє врахувати спільний вплив цілого ряду факторів у розв'язку задачі прогнозу ризику розвитку ПОЗ.

В [7] описана НЕС оцінки ризику розвитку ПОЗ, що побудована на основі аналізу виявлених у результаті досліджень індивідуальних і групових ФР.

Аналіз останніх досліджень. Професійні алергічні захворювання шкіри є однією з істотних і актуальних проблем професійної патології, що помітно впливають на людей, суспільство, економіку [8]. У професіях із групи ризику захворюваність значно перевищує середній показник і досягає десятків людей на 10000 працюючих на рік. Професійні алергодерматози часто рецидивують і здатні приводити до тимчасової втрати працездатності, створюючи високий професійний, соціальний, психологічний вплив [9].

Одним з найперспективніших напрямів у медицині праці є розробка методології, що дозволяє комплексно оцінювати й прогнозувати показники здоров'я у взаємозв'язку з інтегральними параметрами виробничих факторів і функціональним напруженням організму працівника у відповідь на трудове навантаження [10].

Професійні шкідливості (контакт з речовинами хімічного й біологічного походження) є основною причиною виникнення професійно обумовлених алергодерматозів. Крім того, існують ФР, які не є причиною виникнення захворювання, але передують його розвитку [11]. Для ФР найбільш ефективною є оцінка їх спільного впливу на розвиток захворювання.

На етапі якісного аналізу ФР [5, 6, 11] були виявлені як індивідуальні, так і групові ФР розвитку професійно обумовлених алергодерматозів у робітників підприємств хіміко-фармацевтичної промисловості. Кількісний аналіз надав можливість порівнювати виявлені ФР розвитку ПОЗ за силою впливу, а за результатами порівняння – ранжувати. Виявилось, що найбільш впливовим на розвиток ПОЗ є ФР «Місце роботи» із градаціями

«Пов'язане», «Частково пов'язане» і «Не пов'язане» безпосередньо з контактом зі шкідливими речовинами, що викликають розвиток професійно обумовлених алергодерматозів. Це є професійний ризик розвитку ПОЗ.

Диференціація рівнів професійного ризику розвитку ПОЗ у робітників проводиться за результатами аналізу групових характеристик, що визначають, зокрема, місце роботи на підприємстві хіміко-фармацевтичної галузі й особливості анамнезу, тобто приналежності обстежуваних робітників до певної групи ризику.

Постановка задачі. На підприємствах хіміко-фармацевтичної промисловості до професійних ризиків відносять вплив активних хімічних речовин, що викликають різні захворювання *алергічного генезу*.

При формуванні вибірки, що відповідає вимогам проведених досліджень, частина даних, як правило, неповних, не оброблялась. Причинами такої неповноти даних були звільнення частини робітників з підприємства, перехід на інше місце роботи на даному підприємстві з меншим професійним ризиком. Крім того, не всі робітники звертаються в медсанчастину підприємства, особливо із приводу рецидивів захворювання, займаючись самолікуванням. Тому отримані раніше результати не повною мірою відображають наявну первинну інформацію.

Виходячи із цього, стандартні параметричні й непараметричні статистичні методи недостатньо ефективні для аналізу такої вибірки, що й визначає необхідність застосування спеціальних методів, у яких можна було б урахувати й використовувати неповноту наявної інформації. Дані, що містять неповну інформацію, називають *цензурованими* (censored). Найпоширенішими описовими методами дослідження цензурованих даних є побудова *таблиць дожиття* (mortality table) і *метод Каплана-Мейєра* (Kaplan-Meier method) [12]. Побудова таблиць дожиття є одним з найбільш традиційних методів дослідження даних про виживаність. Початково термін «виживаність» запозичений з лексики страхових компаній, які використовують його в статистичних розрахунках при страхуванні життя своїх клієнтів. За допомогою певної методики компанія оцінює потенційний ризик летального результату (страховий випадок) або середній час виживання (виживаність, час до події) клієнта з урахуванням супутніх ризиків, що й визначає розмір індивідуальних страхових внесків [13].

Тому актуальною є задача розробки методу диференціації рівнів ризику на основі якісної та кількісної оцінки професійних ризиків у робітників підприємств хіміко-фармацевтичної галузі за умови неповноти інформації, а також його реалізація у системному модулі «Резистентність» НЕС прогнозу ризику розвитку ПОЗ.

Математична модель. Згідно до введених у роботах [5, 6] позначень усі обстежені робітники були поділені на чотири групи ризику: ГР1 («Ті, які мають в анамнезі алергічні захворювання різної етіології»), ГР2 («Ті, які мають в анамнезі соматичні захворювання»), ГР3 («Ті, які мають в анамнезі різні шкірні захворювання неалергічного генезу»), ПЗ («Практично здорові»).

У даних дослідженнях проводилось порівняння захворюваності на ПОЗ у робітників, які потрапили в групу ризику ГР1 із груп ризику ГР2, ГР3 і ПЗ. Інакше кажучи, мала місце задача про вплив наявності в анамнезі обстежуваних робітників різних соматичних захворювань і шкірних захворювань неалергічного генезу на захворюваність на ПОЗ.

Ця задача розв'язувалась у два етапи. На першому етапі проводилось порівняння динаміки проявів ПОЗ у робітників із груп ризику ПЗ та об'єднаної групи ГР2,3. На другому етапі аналогічне порівняння проводилось для груп ризику ГР2 і ГР3.

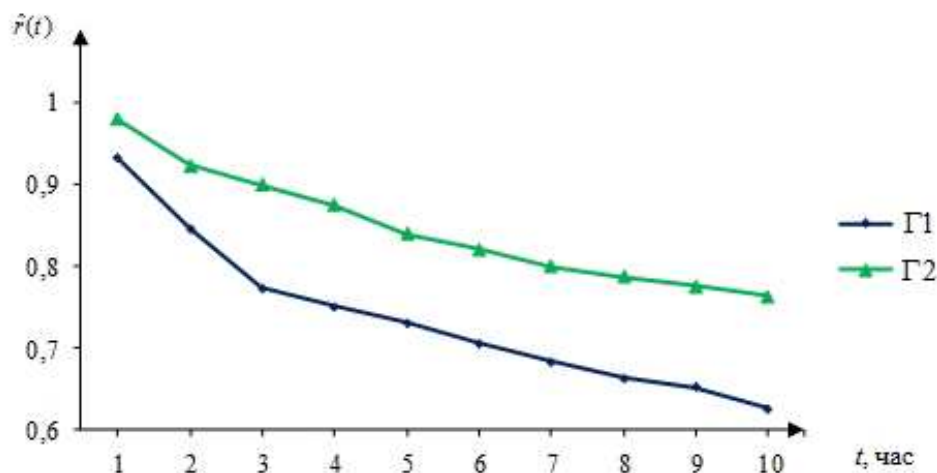


Рис. 1 – Криві оцінки $\hat{r}(t)$ резистентності гомеостазу: Г₁ – по групі Ω_1 ; Г₂ – по групі Ω_2 .

Уведемо в розгляд допоміжну функцію $r(t)$, що визначає в кожен момент часу t ймовірність того, що

ПОЗ ще не виявиться до моменту часу t , тобто враховуються тільки первинні прояви ПОЗ у робітників. Назвемо її функцією резистентності гомеостазу, що характеризує опірність організму професійним шкідливостям.

Для сукупності Ω вимірності n значення функції резистентності гомеостазу обчислюється у такий спосіб:

$$r(t) = \frac{n_t}{n}, \quad 1 \leq t \leq S,$$

де n_t – кількість робітників, які не мали проявів ПОЗ до моменту t роботи на даному підприємстві; $t=1$ відповідає початку роботи на даному підприємстві; S – найбільший стаж роботи, при якому вперше було виявлено ПОЗ. Ніякого іншого способу оцінки $r(t)$ не існує.

Для досягнення мети даних досліджень розглядалися дві вибірки Ω_1 й Ω_2 із усієї сукупності даних $\bar{\Omega}$, таким чином, що $\Omega_1 \cup \Omega_2 = \bar{\Omega}$. При цьому у вибірку Ω_1 ввійшли обстежені робітники з групи ризику ГР2,3, а в Ω_2 – з групи ризику ПЗ. У якості вибірки $\bar{\Omega}$ була обрана відповідна частина бази даних обстеження робітників та службовців фармацевтичної фірми «Здоров'я», що сформована за результатами НДР [14], у якій брали участь співробітники Харківського НДІ Дерматології й Венерології та НТУ «ХПІ».

По кожній сформованій вибірці Ω_1 й Ω_2 були отримані оцінки функції резистентності гомеостазу $\hat{r}_1(t)$ й $\hat{r}_2(t)$:

$$\hat{r}_j(\tau) = f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_\tau,$$

де $f_i = 1 - \frac{m_i}{n_i}$, $i = \overline{1, \tau}$, $1 \leq \tau \leq S$; $j = \overline{1, 2}$; m_i – число робітників з первинними проявами ПОЗ, що з'явилися до моменту $t = i$; n_i – загальна кількість робітників на підприємстві до моменту $t = i$; S – найбільший стаж роботи, при якому вперше було виявлено ПОЗ. При цьому в число n_i не входять робітники, чий стаж роботи $S < i$.

Результати обчислень представлені на рис. 1 у вигляді кривих Γ_1 і Γ_2 оцінки резистентності гомеостазу $\hat{r}_j(t)$, $j = \overline{1, 2}$, відповідних до груп обстежених Ω_1 і Ω_2 . Описана процедура називається методом Каплана – Мейера [12] і застосовується при аналізі виживаності й побудові кривих дожиття.

За наявними даними криві Γ_1 й Γ_2 дають найбільш повну оцінку $\hat{r}(t)$ резистентності гомеостазу. Оцінка точності наближення була розрахована за формулою Грінвуда [12]. Наявність такої оцінки дозволяє визначати довірчі інтервали для $\hat{r}(t)$ в момент часу t .

Кількісна оцінка професійного ризику була проведена за результатами порівняння кривих Γ_1 і Γ_2 із застосуванням непараметричного логрангового критерію [12]. Нульова гіпотеза H_0 полягала в тому, що в обох групах Ω_1 і Ω_2 резистентність гомеостазу є однаковою.

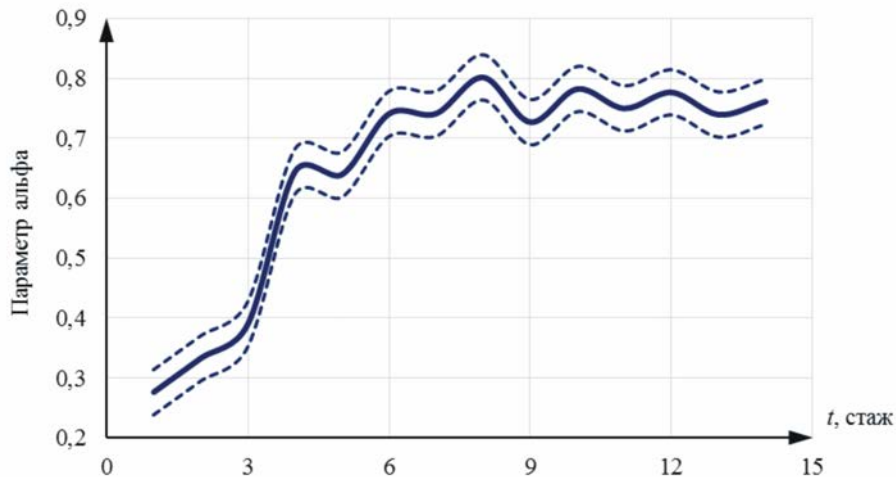
Однією з вимог логрангового критерію є те, що функції $r_1(t)$ й $r_2(t)$ пов'язані між собою співвідношенням $r_1(t) = [r_2(t)]^\alpha$. Оскільки співвідношення $r_1(t) = [r_2(t)]^\alpha$, що пов'язує рівні професійного ризику, відповідно до логрангового критерію має місце при кожному t , то параметр α можна оцінити як

$$\alpha = \frac{\ln(r_1(S))}{\ln(r_2(S))},$$

де $r_1(S)$ й $r_2(S)$ – резистентність гомеостазу в групах Ω_1 і Ω_2 до кінця спостереження – моменту часу $t = S$.

При цьому, якщо $\alpha = 1$, то криві оцінок $\hat{r}_1(t)$ і $\hat{r}_2(t)$ співпадають, що рівносильно відсутності відмінностей у рівнях професійних ризиків; якщо $\alpha < 1$, то рівень захворюваності на професійно обумовлені алергодерматози вище в групі обстежених Ω_1 , а значення функції резистентності $\hat{r}_1(t)$ нижче, і навпаки, якщо $\alpha > 1$, то рівень захворюваності вище в групі обстежених Ω_2 , та, відповідно, значення функції резистентності $\hat{r}_2(t)$ нижче.

Як показали обчислення, стандартне відхилення вибіркового розподілу склало $z_{\text{набл.}} = 1,9815$, що більше за критичне значення для рівня значущості $p < 0,05$ у випадку нормального розподілу, яке становить $z_{\text{кр.}} = 1,96$. Тому гіпотеза H_0 про відсутність відмінностей резистентності гомеостазу в групах Ω_1 і Ω_2 відхиляється. Крім того, значення параметра $\alpha = 0,797$ дає можливість зробити висновок про те, що рівень резистентності професійним ризикам вище в групі обстежених Ω_2 .

Рис. 2 – Динаміка параметру резистентності α .

Наведена вище оцінка параметру α є однією з можливих, що розрахована за умови $t = S$. Тому для отримання додаткової інформації було розглянуто динаміку цього параметра за весь час спостереження (рис. 2).

Візуальний аналіз рис. 2 дає можливість зробити такі висновки:

- 1) параметр резистентності α зростає для робітників підприємств зі стажем 1 – 7 років;
- 2) параметр резистентності α практично не змінюється для робітників підприємств зі стажем 7 – 15 років.

За аналогічною схемою були проаналізовані групи ризику ГР2 і ГР3. Однак по наявній базі даних відмінності в кривих оцінки резистентності виявлені не були.

Результати роботи програми. Результати проведених досліджень дають можливість використовувати метод кількісної оцінки професійних ризиків у НЕС «Ризик» [7] у якості відповідної підсистеми «Резистентність».

Нехай для опису множини Ω , що складається з n об'єктів, використовується k ознак (виявлених факторів ризику): $\{X_1, X_2, \dots, X_k\}$. Кожному об'єкту з множини Ω відповідає деяке значення цільової ознаки X_0 . Ознаки $X_i (i = \overline{0, k})$ виміряні в порядковій або номінальній шкалах. Цільова ознака X_0 має k_0 градацій, тобто набуває k_0 різних значень. Для всіх градацій ознак $X_i (i = \overline{0, k})$ були побудовані функції належності $\mu^{jp}(X_i)$ вхідної ознаки X_i нечіткому терму X_i^{jp} .

На основі результатів попередніх досліджень був синтезований набір k_0 правил виду:

L_j : ЯКЩО $(X_1 = X_1^{j1}) \wedge (X_2 = X_2^{j1}) \wedge \dots \wedge (X_n = X_n^{j1})$ (з вагою ω_{j1})

АБО $(X_1 = X_1^{j2}) \wedge (X_2 = X_2^{j2}) \wedge \dots \wedge (X_n = X_n^{j2})$ (з вагою ω_{j2})

.....

АБО $(X_1 = X_1^{jq_j}) \wedge (X_2 = X_2^{jq_j}) \wedge \dots \wedge (X_n = X_n^{jq_j})$ (з вагою ω_{jq_j}),

ТО $X_0 = X_0^j$,

де L_j – вирішальне правило з номером $j (j = \overline{1, k_0})$; X_i^{jp} – градація вхідної змінної X_i в правилі з номером $jp (j = \overline{1, k_0}, p = \overline{1, q_j})$; q_j – кількість правил, у яких вихід X_0 оцінюється термом X_0^j ; \wedge – символ операції t -норми (логічного «і»).

На основі бази нечітких правил $L_j (j = \overline{1, k_0})$ була отримана модель Мамдані (Mamdani) [4] нечіткого логічного виведення для прогнозу ризику розвитку ПОЗ.

Оскільки на етапі аналізу наявних даних не були виявлені відмінності в рівнях професійного ризику в групах ГР2 і ГР3, то надалі вони були об'єднані в одну групу ГР2,3. Групам ризику ГР1, ГР2,3 і ПЗ у НЕС «Ризик» відповідають наступні градації цільової ознаки X_0 = «Рівень ризику розвитку ПОЗ»: $X_0^{(1)}$ = «Високий ризик розвитку ПОЗ», $X_0^{(2)}$ = «Підвищений ризик розвитку ПОЗ», $X_0^{(3)}$ = «Невисокий ризик розвитку ПОЗ».

Структурна схема доповненої НЕС оцінки ризику розвитку ПОЗ наведена на рис. 3.

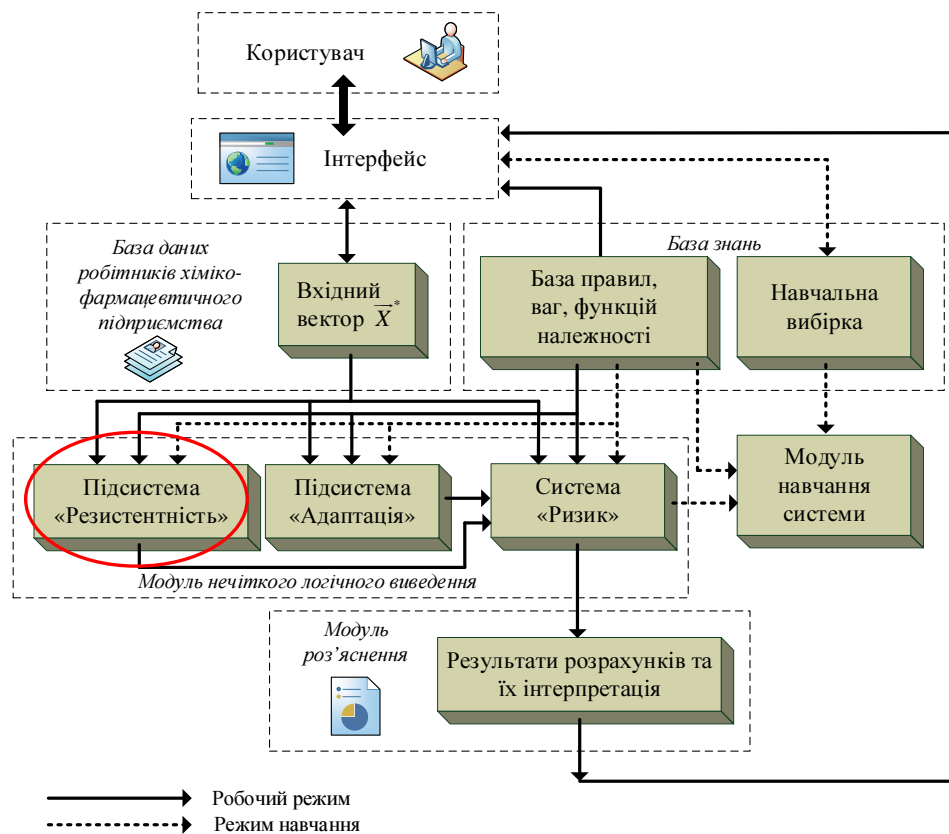


Рис. 3 – Структурна схема доповненої НЕС оцінки ризику розвитку ПОЗ.

Описана в [7] НЕС «Ризик» доповнена в модулі нечіткого логічного виведення підсистемою «Резистентність». Для включення до НЕС підсистеми «Резистентність» була введена додаткова ознака «Резистентність» із градаціями «Низька», «Висока».

У процесі структурної ідентифікації моделі системи для кожної змінної X_i ($i = \overline{0, k}$) було задане її ім'я, терм-множини (градації) T_i , відповідні універсальні множини U_i .

Прийmemo позначення: $X_1 =$ «Місце роботи»: $T_1 = \{ \text{«Пов'язане»}, \text{«Частково пов'язане»}, \text{«Не пов'язане»} \}$, $U_1 \in [0, 1]$; $X_2 =$ «Анамнез»: $T_2 = \{ \text{«Алергічні захворювання»}, \text{«Різні соматичні захворювання»}, \text{«Практично здорова людина»} \}$, $U_2 \in [1, 3]$; $X_3 =$ «Резистентність»: $T_3 = \{ \text{«Низька»}, \text{«Висока»} \}$, $U_3 \in [0, 1]$; $X_4 =$ «Рівень резистентності»: $T_4 = \{ \text{«Низький»}, \text{«Високий»} \}$, $U_4 \in [0, 1]$. Для цільової ознаки: $X_0 =$ «Рівень ризику розвитку ПОЗ»: $T_0 = \{ \text{«Високий ризик розвитку ПОЗ»}, \text{«Підвищений ризик розвитку ПОЗ»}, \text{«Невисокий ризик розвитку ПОЗ»} \}$, $U_0 \in [0, 1]$.

Нижче наведені відповідні вирішальні правила в модулі нечіткого логічного виведення НЕС «Ризик»:

ЯКЩО ($X_1 =$ «Пов'язане») (з вагою 0,8) АБО ($X_2 =$ «Різні соматичні захворювання») (з вагою 0,7), ТО ($X_3 =$ «Низька»).

ЯКЩО ($X_1 =$ «Частково пов'язане») (з вагою 0,8) АБО ($X_2 =$ «Практично здорова людина») (з вагою 0,8), ТО ($X_3 =$ «Висока»).

ЯКЩО ($X_4 =$ «Низький») (з вагою 0,6), ТО ($X_0 =$ «Підвищений ризик розвитку ПОЗ»).

ЯКЩО ($X_4 =$ «Високий») (з вагою 0,6), ТО ($X_0 =$ «Невисокий ризик розвитку ПОЗ»).

Зміст наведених вирішальних правил полягає в наступному.

Якщо у обстеженого робітника в анамнезі присутні які-небудь соматичні захворювання або місце роботи пов'язане безпосередньо із професійними шкідливостями, то, відповідно до введеної вище термінології, опірність до ПОЗ у нього низька, а ризик розвитку ПОЗ підвищений.

Якщо у обстеженого робітника місце роботи частково пов'язане із професійними шкідливостями або в анамнезі відсутні будь-які шкірні або соматичні захворювання, то опірність до ПОЗ у нього висока, а ризик розвитку ПОЗ невисокий.

Згідно з механізмом Мамдані нечітке виведення в експертній системі здійснюється у такий спосіб [4]:

1. На етапі фазифікації визначаються ступені істинності, тобто значення функцій належності $\mu^{jp}(X_i)$ ($i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k_0}, p = \overline{1, q_j}$) для лівої частини правила L_j (що складається з jp підправил).

2. Для поточних вхідних значень $\overline{X_0} = (X_1^*; X_2^*; \dots; X_k^*)$ за мінімаксним методом визначається значення функції належності, що відповідає ступеню істинності цільової ознаки, тобто число

$$\mu_0^j(\overline{X^*}) = \bigvee_{p=1, q_j} (\omega_{jp} \bigwedge_{i=1, k} \mu^{jp}(X_i^*)), \quad j = \overline{1, k_0},$$

де $\bigvee(\wedge)$ – операція s – норми (t – норми).

3. На етапі дефазифікації визначається чітке значення цільової ознаки X_0 , відповідне до вхідного вектора $\overline{X_0} = (X_1^*; X_2^*; \dots; X_k^*)$. У даних дослідженнях це значення визначається за методом центру ваги.

Таким чином, на основі побудованих функцій належності, відповідних до факторів ризику, і сформованих на підставі виявлених закономірностей правил нечіткого логічного виведення в пакеті *Fuzzy Logic* середовища MATLAB, була реалізована модель НЕС прогнозу ризику розвитку ПОЗ.

Перспективи подальших досліджень. Результати проведених досліджень можуть бути використані для якісної та кількісної оцінки ризику розвитку широкого кола захворювань у пацієнтів з обтяженим анамнезом.

Висновки. Проведений у даній статті метод якісного та кількісного аналізу рівнів ризику розвитку ПОЗ на основі аналізу кривих резистентності гомеостазу був реалізований у вигляді підсистеми «Резистентність» у модулі нечіткого логічного виведення існуючої НЕС «Ризик». Це дає можливість використовувати результати роботи НЕС у якості рекомендацій із заходів профілактики ПОЗ при проведенні профілактичних оглядів на підприємстві, а також при укладанні медичного страхового полісу на виробництві зі шкідливими умовами праці.

Список літератури

1. Арустамян О. М., Ткачущин В. С., Кондратюк В. Є., Корж А. В., Алексійчук О. Ю. Сучасні проблеми професійної патології в Україні // ENVIRONMENT & HEALTH. – 2017. – № 4. – С. 62 – 67.
2. Солошенко Э.Н., Чикина Н. А. Определение факторов риска развития аллергодерматозов у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности с помощью математических методов // Тезисы докладов научно-практической конференции «Метагигиена-93». – 1993. – С. 137 – 138.
3. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – № 8 (3). – P. 338 – 353.
4. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
5. Чикина Н. А., Антонова И. В. Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – № 19. – С. 195 – 200.
6. Чикина Н. А., Антонова И. В. Математические модели адаптации к вредным условиям труда на основе метода корреляционной адаптометрии // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. – № 49. – С. 184 – 189.
7. Поворознюк А. И., Чикина Н. А., Антонова И. В. Нечеткая экспертная система прогноза риска развития профессионально обусловленных заболеваний // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. – № 31. – С. 127 – 132.
8. Montano D. Chemical and biological work-related risks across occupations in Europe: a review // Journal of Occupational Medicine and Toxicology. – 2014. – № 9, article 28. – DOI :10.1186/1745-6673-9-28.
9. Тимошина Д., Луб'янова І. Сучасні проблеми професійної алергопатології // Медицина праці. – 2011. – №4. – С. 47 – 51.
10. Орехова О. В., Павленко О. І. Професійні ризики здоров'ю працюючих як сучасна концепція медицини праці // Український журнал з проблем медицини праці. – 2017. – № 3(52). – С. 77 – 87.
11. Чикина Н. А., Антонова И. В. АИС многофакторной профилактики профессионально обусловленных заболеваний в условиях вредного производства // Сб. науч. трудов 3-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития». – Харьков, 2008. – Т. 4. – С. 238 – 241.
12. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М. : Практика, 1999. – 459 с.
13. Румянцев П. О., Саенко В. А., Румянцева У. В., Чекин С. Ю. Статистические методы анализа в клинической практике. – Режим доступа : <http://medstatistic.ru/articles/StatMethodsInClinics.pdf>. – Дата звертання : 10.01.2020.
14. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка комплекса мероприятий с автоматизированной системой управления по ранней диагностике, лечению и профилактике больных аллергодерматозами среди рабочих с вредными условиями труда». – 1993. – № 01.9.10 050715.

References (transliterated)

1. Arustamyan O. M., Tkachishin V. S., Kondratyuk V. Ye., Korzh A. V., Aleksiychuk O. Yu. Suchasni problemy profesijnoyi patologiyi v Ukraini [Modern problems of occupational pathology in Ukraine]. ENVIRONMENT & HEALTH. 2017, no. 4, pp. 62–67.
2. Soloshenko E. N., Chikina N. A. Opredelenie faktorov riska razvitiya allergodermatozov u rabochikh predpriyatij khimiko-farmatsevticheskoy

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, № 1 (1355) 2020.

- promyshlennosti s pomoshch'yu matematicheskikh metodov [Determining allergic dermatosis risk factors for chemical-pharmaceutical industry workers using mathematical methods]. *Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii «Metagigiena-93»* [Meta hygiene'93. Proc. of the Sci.-Pract. Conf.], 1993, pp. 137–138.
3. Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965, no. 8 (3), pp. 338–353.
 4. Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Designing fuzzy systems using MATLAB]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2007. 288 p.
 5. Chikina N. A., Antonova I. V. Izuchenie vliyaniya vnutrennikh faktorov riska na razvitie allergodermatozov u rabochikh khimiko-farmatsevticheskikh predpriyatiy [Studying the influence of internal risk factors on the allergic dermatoses development of chemical and pharmaceutical enterprises workers]. *Vestnik NTU «KhPI». Tematicheskii vypusk : Informatika i modelirovanie* [Bulletin of NTU «KhPI». Series : Informatics and modeling]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2007, no. 19, pp. 195–200.
 6. Chikina N. A., Antonova I. V. Matematicheskie modeli adaptatsii k vrednyim usloviyam truda na osnove metoda korrelyatsionnoy adaptometrii [Mathematical models of adaptation to harmful working conditions based on the method of correlation adaptometry]. *Vestnik NTU «KhPI». Tematicheskii vypusk : Informatika i modelirovanie* [Bulletin of NTU «KhPI». Series : Informatics and modeling]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2008, no. 49, pp. 184–189.
 7. Povoroznyuk A. I., Chikina N. A., Antonova I. V. Nechetkaya ekspertnaya sistema prognoza riska razvitiya professional'no obuslovlennykh zabolovaniy [Fuzzy expert system for predicting the risk of developing occupationally determined diseases]. *Vestnik NTU «KhPI». Tematicheskii vypusk : Informatika i modelirovanie* [Bulletin of NTU «KhPI». Series : Informatics and modeling]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2010, no. 31, pp. 127–132.
 8. Montano D. Chemical and biological work-related risks across occupations in Europe : a review. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2014, no. 9, article 28, doi :10.1186/1745-6673-9-28.
 9. Timoshina D., Lub'yanova I. Suchasni problemy profesiyanoi alergopatologii [Modern problems of occupational allergology]. *Medytsyna pratsi* [Occupational health]. 2011, no. 4, pp. 47–51.
 10. Orekhova O. V., Pavlenko O. I. Profesiyni ryzyky zdorov'ya pratsyuyuchykh yak suchasna kontsepsiya medytsyny pratsi [Occupational health risks of workers as a modern concept of occupational medicine]. *Ukrayin's'kiy zhurnal z problem medytsyny pratsi* [Ukrainian Journal of Occupational Health]. 2017, no. 3(52), pp. 77–87.
 11. Chikina N. A., Antonova I. V. AIS mnogofaktornoy profilaktiki professional'no obuslovlennykh zabolovaniy v usloviyakh vrednogo proizvodstva [The AIS of multifactorial prophylaxis of professionally caused diseases in harmful production]. *Sb. nauch. trudov 3-go Mezhdunarodnogo radioelektronnoho foruma «Prikladnaya elektronika. Sostoyanie i perspektivy razvitiya»* [Applied Electronics. Status and development prospects. Proc. of the 3rd International Radio-Electronic Forum]. Kharkov, 2008, vol. 4, pp. 238–241.
 12. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Primer of biostatistics]. Moscow, Praktika Publ., 1999. 459 p.
 13. Rumyantsev P. O., Saenko V. A., Rumyantseva U. V., Chekin S. Yu. *Statisticheskie metody analiza v klinicheskoy praktike* [Statistical methods of analysis in clinical practice]. Available at : <http://medstatistic.ru/articles/StatMethodsInClinics.pdf>. (accessed 10.01.2020).
 14. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Razrabotka kompleksa meropriyatiy s avtomatizirovannoy sistemoy upravleniya po ranney diagnostike, lecheniyu i profilaktike bol'nykh allergodermatozami sredi rabochikh s vrednymi usloviyami truda»* [Report on the research work «Developing a set of measures for early diagnosis, treatment and prevention of patients with allergic dermatosis among workers with harmful working conditions using an automated control system»]. 1993, no. 01.9.10 050715.

Надійшла (received) 17.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Чікіна Наталія Олександрівна (Chikina Nataliya Aleksandrovna, Chikina Natalia Aleksandrovna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (057) 707-66-93; e-mail: nachikina56@gmail.com.

Антонова Ірина Володимирівна (Antonova Iryna Vladimirovna, Antonova Iryna Vladimirovna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (095) 465-98-33; e-mail: antonova2601@gmail.com.

Солошенко Ельвіра Миколаївна (Soloshenko Elvira Nikolaevna, Soloshenko Elvira Nykolaevna) – доктор медичних наук, професор, Державна установа «Інститут дерматології та венерології Національної академії медичних наук України», м. Харків; тел.: (050) 648-13-85; e-mail: elvirasolo@ukr.net.

УДК 539.3

Е. Г. ЯНЮТИН, А. В. ВОРОПАЙ, П. А. ЕГОРОВ

**НЕСТАЦИОНАРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МЕМБРАН И ПЛАСТИН
В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО РАВНОБЕДРЕННОГО ТРЕУГОЛЬНИКА**

Рассматривается нестационарное деформирование механических объектов (мембран и пластин) имеющих форму прямоугольного равнобедренного треугольника. Для решения задачи используется подход, предложенный Дж. В. Стреттом (лордом Рэлеем) в монографии «Теория звука» и использованный С. П. Тимошенко в задаче о статическом деформировании треугольной пластины. Указанный подход состоит в дополнении треугольной пластины второй (идентичной исходной) до полного квадрата и решении задачи для квадратной мембраны/пластины, к которой кроме возмущающей силы прикладывается дополнительная нагрузка противоположного знака. Таким образом, решение задачи сводится к исследованию колебаний квадратной мембраны, закрепленной по контуру, или квадратной изотропной пластины средней толщины (типа Тимошенко), имеющей шарнирное опирание. Приведены примеры расчетов для треугольной мембраны и пластины средней толщины, которые демонстрируют эффективность предложенного подхода при решении задач нестационарного деформирования.

Ключевые слова: треугольная мембрана, пластина средней толщины, нестационарное нагружение, форма прямоугольного равнобедренного треугольника, прогиб.

© Е. Г. Янютин, А. В. Воропай, П. А. Егоров, 2020