

О.М. Кісельова, О.М. Притоманова, М.Б. Щербиніна, С.В. Журавель
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОНЕЧІТКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ОЦІНКИ ФАКТОРІВ РИЗИКУ РАКУ СТРАВХОДУ

Запропоновано і обґрунтовано підхід до побудови математичних моделей аналізу загальних закономірностей динаміки епідеміологічного стану раку стравоходу на основі нейронечітких технологій, який має певні переваги перед класичним економетричним підходом. Побудовані на основі нейронечіткого підходу адекватні математичні моделі відновлюють нелінійну аналітичну залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від зміни факторів ризику, що на них впливають.

Ключові слова: багатовимірний аналіз, нечітка модель, нейронечіткі технології, недиференційовна оптимізація, рак стравоходу, фактори ризику.

E.M. Kiseleva, O.M. Prytomanova, M.B. Shcherbynina, S.V. Zhuravel
Oles Honchar Dnipro National University

NEURO-FUZZY TECHNOLOGIES APPLICATION FOR ASSESSMENT OF THE ASSOCIATION OF RISK FACTORS FOR ESOPHAGEAL CANCER

Mathematical model was developed with using neurofuzzy technique for the assess of influence of risk factors on the indicators of the epidemiological state of EC. Adequate mathematical models that are based on the basis of a neurofuzzy approach restore the nonlinear analytical dependence of indicators of the epidemiological state of EC on changes in risk factors that affect them. Three diseases as the main ones - Obesity, Diabetes mellitus, Gastroesophageal Reflux Disease and groups of gastroenterological and biliary agents were selected for building a neurofuzzy model for assessing the impact of risk factors on the epidemiological state of EC. The group of gastroenterological diseases includes chronic gastritis and duodenitis. The group of biliary diseases included chronic cholecystitis, cholangitis and cholelithiasis.

The known statistical information about the selected risk factors and indicators of the epidemiological state (morbidity or mortality) is formalized in the form of a fuzzy production knowledge base, which displays expert-linguistic information about the patterns and associations/relationships in the available data. The ranges in which the risk factors and indicators of the epidemiological state change are divided into five parts that corresponding to linguistic assessments for this: low, below average, medium, above average, high.

A fuzzy knowledge base is a set of fuzzy rules (linguistic statements) of the type IF – THEN. Linguistic estimates that were obtained on the basis of known statistical information are converted into quantitative form using membership functions.

Thus, the neurofuzzy model for analyzing the influence of risk factors on indicators of the epidemiological state of EC is determined by the constructed knowledge base. These parameters were adjusted to obtain a neurofuzzy model close enough to statistical data. This ensured minimal distance (standard deviation) between the simulated and observed

data. The r-algorithm developed by Shor was used with an accuracy of $\varepsilon = 0.01$ for adjustment the neurofuzzy model. Software implementation of this approach was developed in Visual Studio 2017 environment.

Keywords: multidimensional analysis, fuzzy model, neuro-fuzzy technologies, undifferentiated optimization, esophageal cancer, risk factors.

Е.М. Киселева, О.М. Притоманова, М.Б. Щербинина, С.В. Журавель
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОНЕЧЕТКИХ ТЕХНОЛОГИЙ К ОЦЕНКЕ ФАКТОРОВ РИСКА РАКА ПИЩЕВОДА

Предложен и обоснован подход к построению математических моделей анализа общих закономерностей динамики эпидемиологического состояния рака пищевода на основе нейронечетких технологий, который имеет определенные преимущества перед классическим эконометрическим подходом. Построенные на основе нейронечеткого подхода адекватные математические модели восстанавливают нелинейную аналитическую зависимость показателей заболеваемости и смертности от влияния изменений влияющих на них факторов.

Ключевые слова: многомерный анализ, нечеткая модель, нейронечеткие технологии, недифференцируемая оптимизация, рак пищевода, факторы риска.

Вступ. Відомі моделі аналізу і прогнозу в медицині побудовані, як правило, на базі класичних методів багатовимірного статистичного аналізу. Однак їх застосування вимагає значної кількості вхідної статистичної інформації, яка не завжди має високу ступінь достовірності.

Нетривіальність моделювання складних процесів в медицині обумовлена низкою факторів, серед яких [1, 2]: недосконалість медичної статистичної інформації (особливо в Україні), її нечіткість, іноді навіть суперечливість, недоступність; короткий часовий інтервал перехідного періоду, по якому робиться аналіз; істотно нелінійна (невідомо задалегідь) залежність вихідної змінної (показника) від вхідних параметрів (факторів); велика кількість різнопланових факторів, що впливають на епідеміологічні процеси; високий рівень вимог, що пред'являються до рішень, які приймаються на основі побудованих моделей та ін. Все це не дозволяє забезпечити високий рівень адекватності моделі, побудованої на основі ймовірно-статистичних методів.

В силу вищевикладеного, в даній роботі в основу моделювання складних епідеміологічних процесів покладено нейронечітких технології, які, з одного боку, позбавлені названих недоліків статистичних методів, з іншого боку, дозволяють розширити можливості моделювання складних об'єктів, процесів, що дуже актуально в реальних умовах України при іноді відсутності достовірних даних, неповної і нечіткої статистичної інформації про об'єкт, складних нелінійних залежностей виходів від входів системи.

В основі нейронечітких технологій лежить поєднання двох принципово різних математичних конструкцій: нейронних мереж і нечіткої логіки [3, 4].

Штучні нейронні мережі розглядаються як близькі людському мозку універсальні моделі, здатні вчитися розпізнаванню невідомих закономірностей. Штучні нейронні мережі будуються за принципом організації та функціонування їх біологічних аналогів (мереж нейронів головного мозку людини). В останні роки нейронні мережі увійшли в практику всюди, де потрібно вирішувати завдання ідентифікації, аналізу та прогнозування, класифікації, управління [5].

Такий успіх визначається декількома причинами: нейронні мережі дозволяють відтворювати надзвичайно складні нелінійні залежності; справляються з «прокляттям розмірності», що дозволяє моделювати залежності в разі великого числа змінних; вчаться на прикладах (експериментальних даних); прості в застосуванні та ін.

Однак, як і в разі ймовірно-статистичних методів, для навчання нейронних мереж потрібна велика вибірка експериментальних даних [6].

На відміну від нейронних мереж, в яких по неструктурованих числовим даними здійснюється пошук рішення задачі шляхом навчання і тренування, нечіткі технології (fuzzy-системи) використовують експертну інформацію про закономірності, виявлених в наявних експериментальних даних, у вигляді природно-мовних правил «ЯКЩО-ТО»[7]. Ці правила формалізуються за допомогою нечіткої логіки, дозволяють будувати моделі ідентифікації залежностей при щодо малих (в порівнянні з нейронними мережами) вибірках експериментальних даних.

Поєднання двох описаних технологій являє собою об'єднання здібностей до навчання нейронних мереж з наочністю і легким інтерпретації нечітких правил «ЯКЩО-ТО». Характерні риси нейронечітких технологій [7]:

- як neuro-, так і fuzzy-технології є універсальними апроксиматорами при моделюванні складних нелінійних залежностей;
- здатність до навчання, притаманна нейронних мереж;
- можливість зниження витрат на навчання, завдяки попередньому структуруванню за допомогою бази знань;
- можливість використання там, де доводиться мати справу з інформаційної невизначеністю, з недоліком або недовірою до інформації.

Таким чином, в даній статті в основу побудови математичної моделі аналізу епідеміологічного стану раку стравоходу покладені нейронечіткі технології, які дозволяють розширити можливості класичних підходів до моделювання складних об'єктів і процесів в медицині.

Постановка задачі. Задача дослідження загальних закономірностей динаміки епідеміологічного стану раку стравоходу за показниками захворюваності та смертності серед дорослого населення України розглядатимемо як задачу ідентифікації (відновлення) складної нелінійної залежності цих показників від наявності супутніх захворювань.

Будемо припускати, що нелінійна залежність, яка підлягає ідентифікації, представлена вибіркою експериментальних даних «входи-вихід»:

$$(X_r, y_r), \quad r = 1, \dots, M, \quad (1)$$

де $X_r = (x_{r1}, x_{r2}, \dots, x_{rm})$ – вектор входів (n – кількість входів), y_r – вихід в r -й парі; M – обсяг вибірки.

Задача ідентифікації полягає в побудові нечіткої моделі F , яка забезпечує мінімальне значення середньоквадратичного відхилення:

$$R = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_r - F(X_r))^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $F(X_r)$ - значення виходу нечіткої моделі при значеннях входів, заданих вектором X_r .

Вихід нечіткої моделі залежить від її структури, а саме бази знань і параметрів: функцій належності, реалізації логічних операцій, методу дефазифікації [8]. Знаходження структури і параметрів нечіткої моделі, що забезпечують мінімальне значення критерію (2) і є задачею ідентифікації.

Матеріали і методи. Одним із сучасних методів ідентифікації є метод нейро-лінгвістичної апроксимації нелінійних залежностей. Цей метод складається з двох етапів [8]:

1) структурна ідентифікація: формування нечіткої бази знань, яка грубо відтворює залежність виходу від входів об'єкта за допомогою лінгвістичних правил «ЯКЩО-ТО», що генеруються за експериментальними даними про об'єкт;

2) параметричну ідентифікацію: пошук таких параметрів нечіткої бази знань, які мінімізують розходження між модельними і експериментальними даними.

Для виконання першого етапу в дослідженні опрацьована офіційна інформація Національного канцер-реєстру України [9] та Державного закладу «Центр медичної статистики Міністерства охорони здоров'я України» [10]. На підставі вказаних джерел відомості про захворюваність та смертність від раку стравоходу оцінювали у залежності від впливу на них таких факторів ризику: гастроєзофагеальна рефлюксна хвороба (ГЕРХ), біліарна патологія (БЛП), гастродуоденальна рефлюксна хвороба (ГДХ), ожиріння та цукровий діабет. У роботі здійснено вивчення статистичних показників за період 2015-2017 рр. по Україні загалом та в розрізі адміністративних територій на 100 тис. дорослого населення.

Розглянемо математичну модель оцінки впливу факторів ризику на показник епідеміологічного стану раку стравоходу (захворюваність, смертність) в наступному вигляді:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \quad (3)$$

де x_1 – ГЕРХ, x_2 – БЛП, x_3 – ГДХ, x_4 – ожиріння, x_5 – цукровий діабет.

Для побудови моделі (3) в явному вигляді, за аналогією з роботою [5], необхідно сформуванати нечітку продукційну базу знань, яка представляє собою сукупність нечітких експертно-лінгвістичних правил типу «ЯКЩО-ТО». Ці правила пов'язують між собою лінгвістичні оцінки вхідних змінних

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ і вихідної змінної y . Лінгвістичні оцінки отримують на основі статистичної інформації (1) про об'єкт, що моделюється.

Для побудови термів для змінних $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, y)$ моделі (3) візьмемо відрізки, правою границею кожного з яких буде найбільше значення кожної змінної, а лівою – менше. Розділимо ці відрізки на п'ять рівних частин, яким будуть відповідати нечіткі терми – *низький* (Н), *нижче середнього* (НС), *середній* (С), *вище середнього* (ВС), *високий* (В).

Виходячи з наявних статистичних даних (1), побудованих нами нечітких термів і лінгвістичних висловлювань, наприклад, ЯКЩО $\langle x_1 \text{ середній} \rangle$ ТА $\langle x_2 \text{ низький} \rangle$ ТА $\langle x_3 \text{ низький} \rangle$ ТА $\langle x_4 \text{ середній} \rangle$ ТА $\langle x_5 \text{ нижче середнього} \rangle$ ТО $\langle y \text{ середній} \rangle$, можна побудувати нечітку базу знань. З [5] витікає, що побудованій нечіткій базі знань відповідає таке представлення об'єкта (3) в явному вигляді:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^5 d_k \mu(y_k)}{\sum_{k=1}^5 \mu(y_k)}, \quad (4)$$

де y_k – значення змінної y для k -го класу виходу, як центри цих класів встановлені значення $d_k = k$, $k = 1, \dots, 5$. Функції $\mu(y_k)$ залежать від функцій належності вхідних змінних. Вид цієї залежності визначається побудованою базою знань. Якість побудованої моделі оцінюємо за значеннями середньоквадратичного відхилення експериментальних значень від теоретичних, тобто розрахованих за математичною моделлю (4).

Для виконання другого етапу методу нейролінгвістичної ідентифікації, тобто мінімізації середньоквадратичного відхилення (2) або настройки моделі, була використана модифікація субградієнтного методу на випадок недиференційованих функцій r -алгоритм Шора Н.З. [4], з точністю $\varepsilon = 0.001$.

Для програмної реалізації запропонованого підходу було розроблено програмне забезпечення в середовищі Visual Studio 2017 мовою С#. Далі наведені результати розрахунків за побудованими математичними моделями за допомогою цього програмного забезпечення.

Аналіз отриманих результатів. На основі статистичних даних за 2015-2017 р.р побудовано по три нейронечіткі моделі залежності показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від обраних факторів ризику, що впливають на них. Після проведення настройки кожної моделі були отримані розраховані за моделлю (модельні) значення показників захворюваності та смертності від раку стравоходу, які майже не відрізняються від спостережуваних (фактичних) значень за аналогічні періоди, що свідчить про адекватність нейронечітких моделей. Показники точності побудованих моделей (середньоквадратичне відхилення між модельними і спостережуваними даними) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники точності побудованих нейронетчкіх моделей

Назва нейронетчкіої моделі	Середньоквадратичне відхилення між модельними та спостережуваними даними					
	абсолютне			відносне		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Оцінка показника захворюваності	1,73	1,50	1,38	0,24	0,14	0,13
Оцінка показника смертності	1,20	1,89	1,27	0,11	0,28	0,11

На основі побудованих моделей були виконані варіантні аналітичні розрахунки прогнозу для сценаріїв зі зміною кількості факторів ризику, а також сили їх впливу. Наше дослідження підтвердило стійкі тенденції зростання протягом 2015-2017 років як показника захворюваності, так і показника смертності від раку стравоходу серед населення України при зростанні, в першу чергу, таких факторів ризику, як GERX та ожиріння, проте тільки на тлі високого рівня показників захворюваності інших факторів ризику (БЛП, ГДХ, цукровий діабет), хоча стійкого самостійного впливу останніх трьох факторів ризику протягом досліджуваного часового періоду виявлено не було.

Проаналізуємо вплив GERX, як фактора ризику, на показники захворюваності та смертності від раку стравоходу шляхом відновлення їх значень за допомогою відповідних нейронетчкіх моделей (табл. 2).

Таблиця 2

Результати моделювання залежності показників захворюваності та смертності від GERX (на 100 тис. населення)

Фактор ризику GERX, на 100 тис.	При значеннях інших факторів ризику на високому рівні					
	Захворюваність, на 100 тис. населення			Смертність, на 100 тис. населення		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
60.0	3.8	2.9	4.9	3.1	2.7	3.5
80.5	3.7	3.0	4.7	3.1	2.7	3.2
101.1	3.7	3.2	4.4	3.0	2.8	2.9
121.6	3.6	3.6	4.2	3.0	3.0	2.6
142.1	3.6	3.9	4.1	3.0	3.2	2.6
...
367.9	4.7	4.3	5.1	4.0	4.0	3.9
388.4	4.7	4.2	5.0	4.0	3.9	3.8
408.9	4.7	4.1	4.8	3.9	3.7	3.7
429.5	4.6	4.1	4.7	3.9	3.6	3.6
450,0	4.6	4.0	4.7	3.8	3.5	3.5

Як бачимо, при збільшенні захворюваності на GERX від 60,0 до 450,0 випадків на 100 тис. населення і наявності інших факторів ризику на високому рівні, у період 2015-2017 р.р. спостерігається зростання захворюваності на рак стравоходу, відповідно для кожного року, в середньому на 30%, 45% і

20%. При цьому зростання смертності від раку стравоходу становить, відповідно, в середньому 22%, 37% і 35%. Графічно ці тенденції представлені на рис. 1-3.

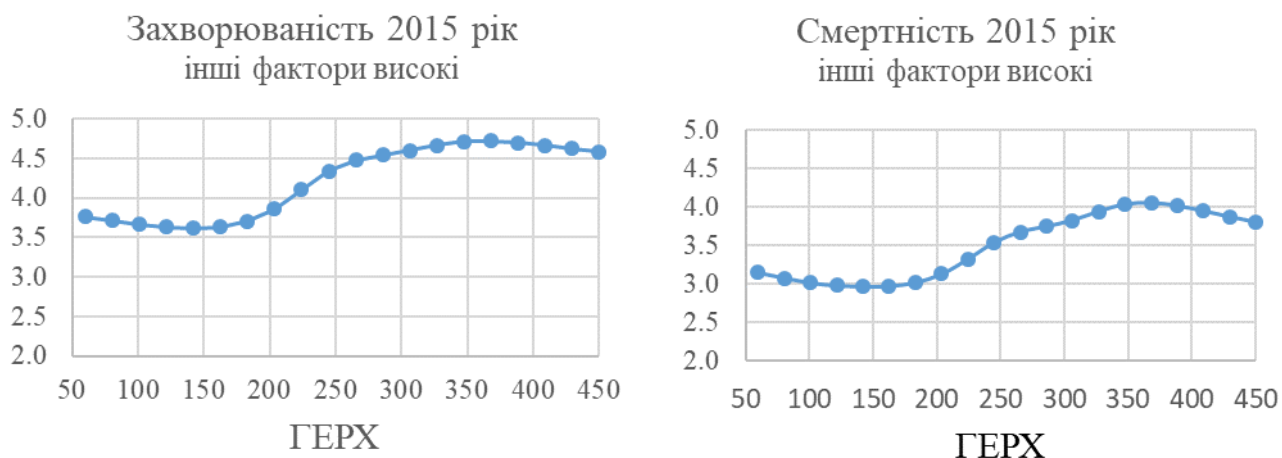


Рис. 1. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику GERX при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2015 рік

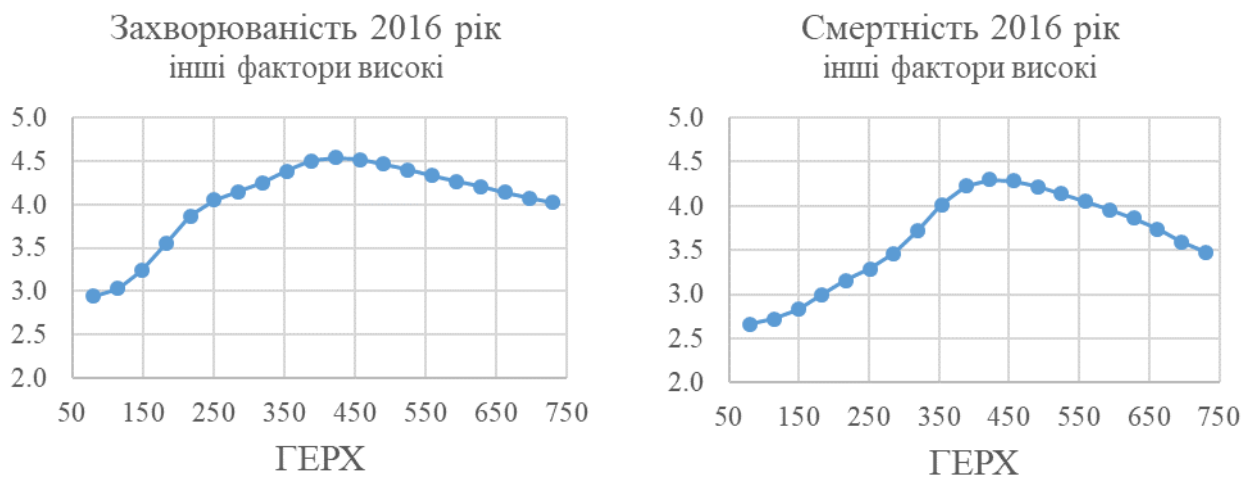


Рис. 2. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику GERX при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2016 рік

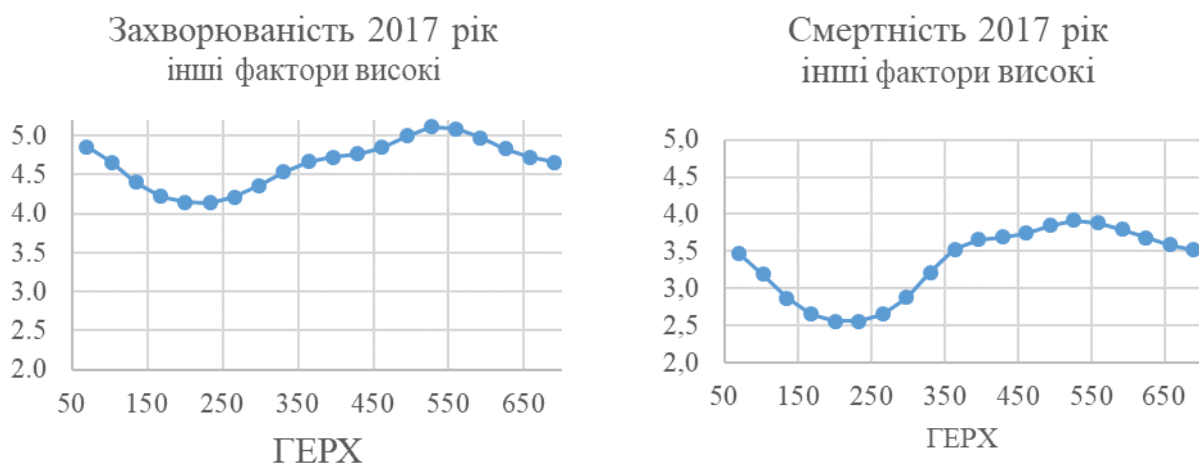


Рис. 3. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику ГЕРХ при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2017 рік

Аналогічна оцінка впливу ожиріння (табл. 3), показує, що кількісне збільшення захворюваності на ожиріння від 500,0 до 4550,0 випадків на 100 тис. населення в період 2015-2017 р.р. дає зростання захворюваності на рак стравоходу, відповідно, в середньому на 15%, 21% і 17%; при цьому спостерігається зростання смертності від раку стравоходу, відповідно, в середньому на 15%, 25% і 21% (рис. 4-6).

Таблиця 3

Результати моделювання залежності від ожиріння показників захворюваності та смертності від раку стравоходу (на 100 тис. населення)

Фактор ризику ожиріння, на 100 тис.	При значеннях інших факторів ризику на високому рівні					
	Захворюваність, на 100 тис. населення			Смертність, на 100 тис. населення		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
550.0	4.0	3.3	4.1	3.3	2.8	2.9
771.1	4.0	3.4	4.3	3.3	2.8	3.0
992.1	4.0	3.4	4.4	3.3	2.8	3.1
1213.2	4.0	3.5	4.5	3.2	2.8	3.4
1434.2	4.0	3.6	4.6	3.2	2.8	3.7
...
3865.8	4.2	3.8	4.6	3.4	3.0	3.6
4086.8	4.3	3.8	4.6	3.5	3.0	3.5
4307.9	4.4	3.9	4.6	3.6	3.2	3.5
4529.0	4.5	4.0	4.7	3.7	3.4	3.5
4750.0	4.6	4.0	4.7	3.8	3.5	3.5

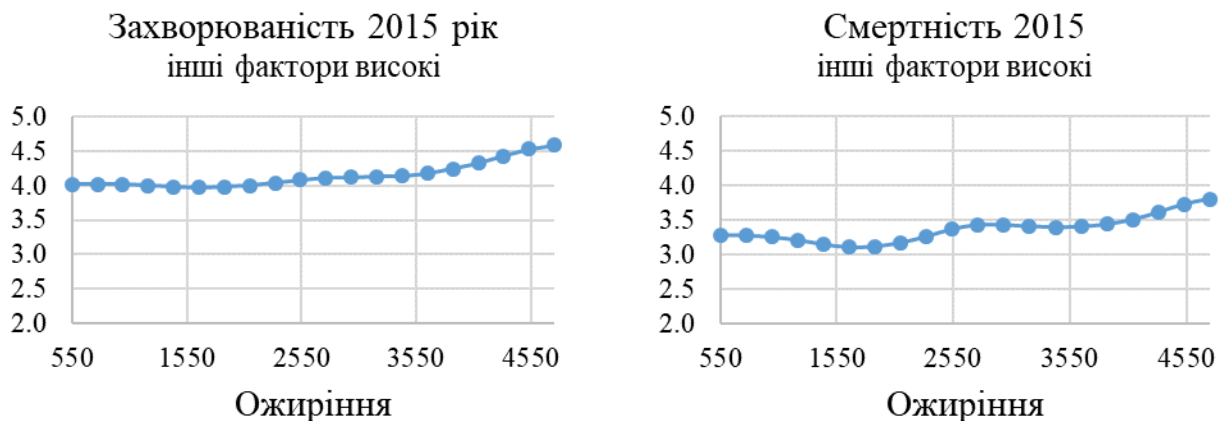


Рис. 4. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику ожиріння при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2015 рік

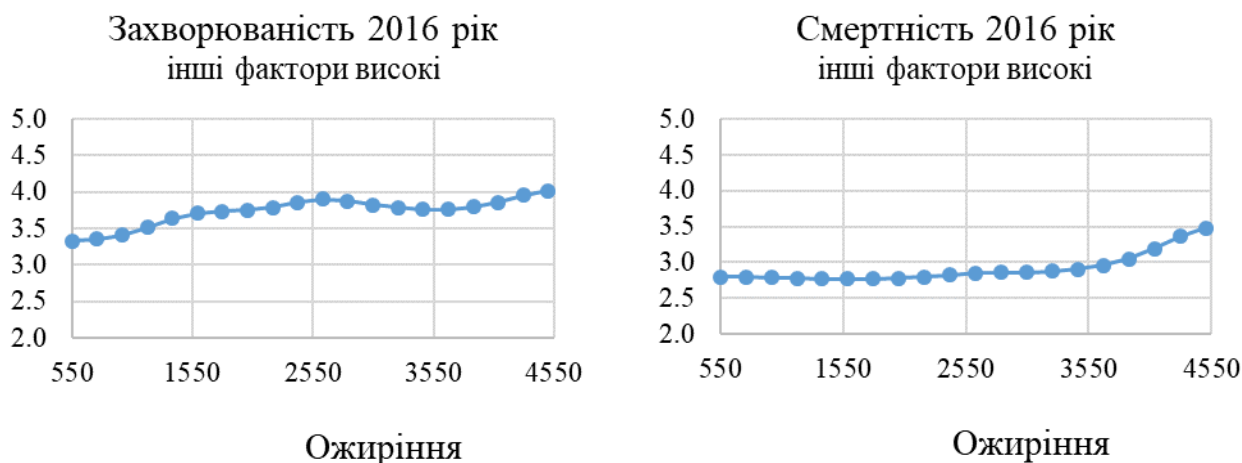


Рис. 5. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику ожиріння при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2016 рік

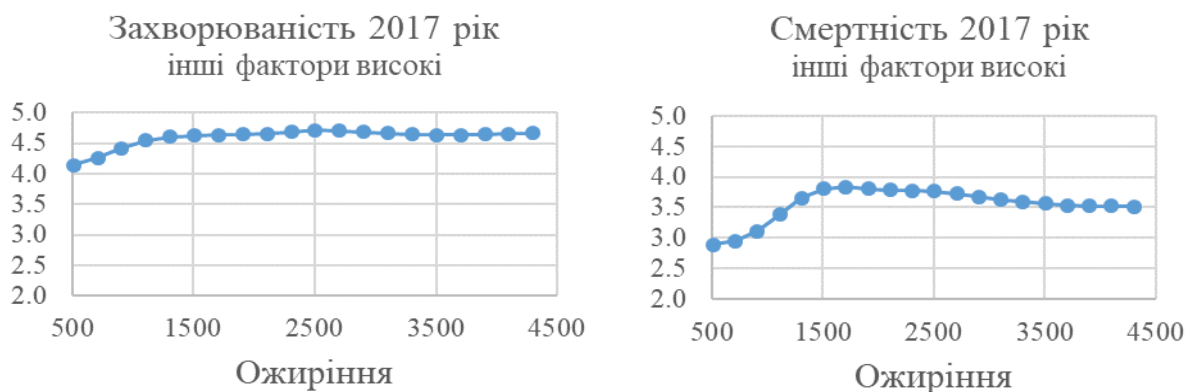


Рис. 6. Залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від фактора ризику ожиріння при значеннях інших факторів ризику на високому рівні, 2017 рік

Побудовані на основі нейронечітких технологій математичні моделі оцінки впливу факторів ризику на захворюваність і смертність від раку стравоходу дозволяють розрахувати прогноз змін епідеміологічних показників раку стравоходу для будь-якої сукупності значень розглянутих в дослідженні факторів ризику. Спираючись на цю властивість моделей, були отримані значення сукупностей факторів ризику, при яких показники захворюваності і смертності від раку стравоходу знаходяться в діапазоні *високий*.

Так, для показника захворюваності на рак стравоходу в табл. 4-6, для прикладу, наведені значення захворюваності в діапазоні від 5,5 до 7,0 на 100 тис. населення і відповідні можливі значення факторів ризику в період 2015-2017 р.р.

Таблиця 4

Числовий фрагмент розширеної бази знань нейронечіткої моделі оцінки показників епідеміологічного стану раку стравоходу для статистичних даних за 2015 р.

Показники епідеміологічного стану раку стравоходу		Фактори ризику, на 100 тис. населення				
Захворюваність, на 100 тис. насел.	Смертність, на 100 тис. насел.	ГЕРХ	БЛП	ГДХ	Ожиріння	Цукровий діабет
7.3	5.8	BC	B	B	B	B
7.0	5.7	B	B	B	B	B
6.8	5.6	B	B	B	B	BC
6.6	5.5	B	B	B	B	B
6.4	5.4	BC	B	B	B	B
6.2	5.3	C	BC	B	C	B
6.0	5.1	BC	B	B	B	B
5.8	4.9	C	BC	B	C	BC
5.6	4.7	C	B	B	BC	B
5.5	4.5	C	B	BC	C	B

З числових фрагментів розширених баз знань в табл. 4-6, значення показника захворюваності на рак стравоходу змінюється в діапазоні від 5,5 до 7,0 на 100 тис. населення, якщо фактори ризику знаходяться в наступних діапазонах: ГЕРХ - від 500 до 730; БЛП - від 6300 до 8600; ГДХ - від 7300 до 9600; Ожиріння - від 3500 до 5000; Цукровий діабет - від 4500 до 5600 на 100 тис. населення. Це підтверджує висновки, зроблені при оцінці впливу факторів ризику ГЕРХ і Ожиріння на значення показника захворюваності на рак стравоходу при інших факторах ризику, фіксованих у відповідних кожному фактору ризику діапазонах *високий*.

Для показника смертності від раку стравоходу в табл. 4-6 для прикладу наведені значення смертності в діапазоні від 4,3 до 5,5 на 100 тис. населення і відповідні можливі значення факторів ризику в період 2015-2017 р.р. Як ви-

пливає з числових фрагментів розширених баз знань в табл. 4-6, значення показника захворюваності змінюється в діапазоні від 4,3 до 5,5 на 100 тис. населення, якщо фактори ризику знаходяться в наступних діапазонах: ГЕРХ - від 500 до 730; БЛП - від 6300 до 8600; ГДХ - від 7300 до 9600; Ожиріння - від 3500 до 5000; Цукровий діабет - від 4500 до 5600 на 100 тис. населення. Це підтверджує висновки, зроблені при оцінці впливу факторів ризику ГЕРХ і Ожиріння на значення показника смертності від раку стравоходу при інших факторах ризику, фіксованих у відповідних кожному фактору ризику діапазонах *високий*.

Таблиця 5

Числовий фрагмент розширеної бази знань нейронечіткої моделі оцінки показників епідеміологічного стану раку стравоходу для статистичних даних за 2016 р.

Показники епідеміологічного стану раку стравоходу		Фактори ризику, на 100 тис. населення				
Захворюваність, на 100 тис. насел.	Смертність, на 100 тис. насел.	ГЕРХ	БЛП	ГДХ	Ожиріння	Цукровий діабет
5.6	5.1	BC	B	B	C	B
5.5	4.9	B	B	B	B	B
5.4	4.7	B	B	B	BC	BC
5.3	4.6	B	B	B	BC	B
5.2	4.5	BC	B	B	B	B
5.1	4.4	C	B	B	BC	B
5.0	4.3	C	B	B	C	B

Таблиця 6

Числовий фрагмент розширеної бази знань нейронечіткої моделі оцінки показників епідеміологічного стану раку стравоходу для статистичних даних за 2017 р.

Показники епідеміологічного стану раку стравоходу		Фактори ризику, на 100 тис. населення				
Захворюваність, на 100 тис. насел.	Смертність, на 100 тис. насел.	ГЕРХ	БЛП	ГДХ	Ожиріння	Цукровий діабет
6.9	5.4	B	B	B	C	B
6.7	5.2	B	B	B	B	B
6.5	5.0	B	B	BC	B	B
6.3	4.9	B	B	B	C	B
6.2	4.8	C	BC	B	BC	B
6.1	4.7	B	B	B	C	B
5.9	4.6	C	BC	B	BC	B
5.7	4.5	B	B	BC	C	B
5.6	4.4	C	BC	B	BC	B
5.5	4.3	B	B	B	BC	B

Дослідження динаміки епідеміологічних показників раку стравоходу за одночасної зміни значень ГЕРХ і ожиріння з фіксованими іншими факторами ризику показало наступне. При одночасному збільшенні значень ГЕРХ в діапазоні від 60 до 450 і ожиріння – в діапазоні від 550 до 4750 значення показника захворюваності на рак стравоходу збільшується в діапазоні від 4,5 до 5,0 на 100 тис. населення і досягає максимального значення при максимальних значеннях названих факторах ризику з їх відповідних діапазонів *високий* (табл. 7, рис. 7).

Таблиця 7

Значення показника захворюваності на рак стравоходу в залежності від зміни факторів ризику ГЕРХ і ожиріння для даних 2015 року

Ожиріння											
550	3.7	3.6	3.6	3.7	4.1	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	
1016	3.7	3.6	3.6	3.7	4.1	4.4	4.3	4.1	4.1	4.0	
1483	3.7	3.5	3.4	3.6	4.1	4.4	4.3	4.1	4.0	4.0	
1950	3.7	3.5	3.4	3.5	4.1	4.4	4.3	4.1	4.0	4.0	
2416	3.8	3.6	3.6	3.7	4.2	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1	
2883	3.8	3.7	3.7	3.8	4.2	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	
3350	3.8	3.7	3.7	3.8	4.2	4.4	4.4	4.3	4.2	4.1	
3816	3.7	3.7	3.6	3.7	4.2	4.4	4.4	4.4	4.3	4.2	
4283	3.7	3.6	3.6	3.7	4.2	4.5	4.5	4.6	4.5	4.4	
4750	3.8	3.7	3.6	3.7	4.2	4.5	4.6	4.7	4.7	4.6	
	60	103	146	190	233	276	320	363	406	450	ГЕРХ

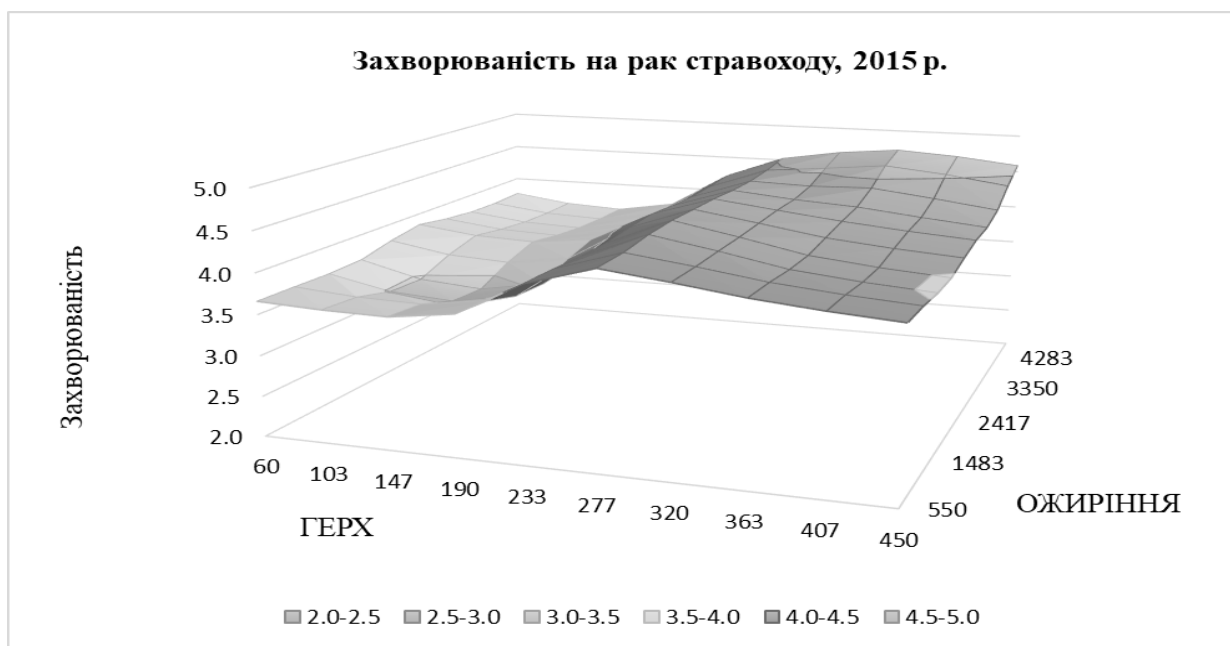


Рис. 7 Динаміка показника захворюваність на рак стравоходу щодо змін факторів ризику ГЕРХ і ожиріння для даних за 2015 р.

Як видно з рис. 8, показник смертності від раку стравоходу при одночасному збільшенні значень ГЕРХ і ожиріння також збільшується і досягає максимального значення 4,1 на 100 тис. населення при високих значеннях зазначених факторів ризику (табл. 8).

Таблиця 8

Значення показника смертності від раку стравоходу в залежності від зміни факторів ризику ГЕРХ і ожиріння для даних 2015 року

Ожиріння											
550.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.4	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	
1016.7	3.0	2.9	2.9	3.0	3.4	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	
1483.3	3.0	2.7	2.7	2.8	3.2	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	
1950.0	3.0	2.7	2.6	2.7	3.2	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	
2416.7	3.2	3.0	3.0	3.0	3.4	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	
2883.3	3.4	3.2	3.2	3.2	3.5	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	
3350.0	3.3	3.1	3.1	3.1	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	
3816.7	3.2	3.1	3.0	3.1	3.4	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	
4283.3	3.2	3.0	3.0	3.0	3.4	3.7	3.7	3.9	3.7	3.6	
4750.0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.4	3.7	3.9	4.1	3.9	3.8	
	60.0	103.3	146.7	190.0	233.3	276.7	320.0	363.3	406.7	450.0	ГЕРХ

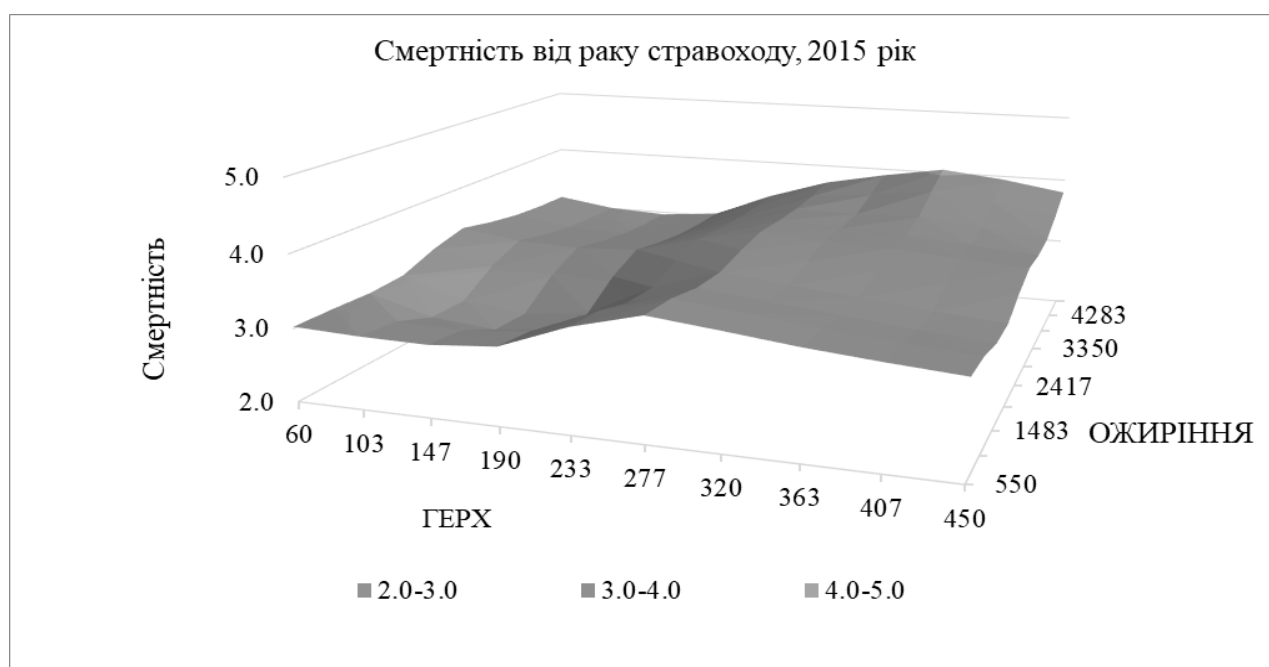


Рис.8. Динаміка показника смертності від раку стравоходу щодо змін факторів ризику ГЕРХ і ожиріння для даних за 2015 р.

Розрахунки, проведені за допомогою побудованих нейронечітких моделей, показали такі ж тенденції і для даних за 2016 і 2017 р.р.

Результати розрахунків за побудованими нейронечіткими моделями підтверджують вплив всіх розглянутих в нашому дослідженні факторів

ризик, а саме, ГЕРХ, БЛП, ГДХ, ожиріння і цукровий діабет, на епідемічні показники раку стравоходу. При цьому найбільший вплив на показники захворюваності та смертності від раку стравоходу мають ГЕРХ і ожиріння при наявності інших факторів ризику на високому рівні їх значень.

Висновки. Побудовані в роботі на основі нейронечіткого підходу адекватні математичні моделі відновлюють нелінійну аналітичну залежність показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від зміни факторів ризику, що на них впливають. Особливістю цих моделей є можливість аналізувати залежності на невеликих за обсягом вибірках статистичних даних.

Розроблені на основі нейронечіткого підходу математичні моделі можна використовувати для аналізу та прогнозування динаміки показників захворюваності та смертності від раку стравоходу від зміни факторів ризику, що на них впливають, а також для прийняття рішень з метою зниження ризиків захворюваності та смертності від раку стравоходу.

Бібліографічні посилання

1. Blyuss O., Zaikin A., Cherepanova V., Munblit D., Kiseleva E., Prytomanova O., Duffy S., Crnogorac-Jurcevic T. Development of PancRISK, a urine biomarker-based risk score for stratified screening of pancreatic cancer patients. *British Journal of Cancer*, 2020. Vol. 122(6). P. 692–696.
2. Kazarian A., Blyuss O., Metodieva G., Gentry-Maharaj A., Ryan A., Kiseleva E., Prytomanova O. Testing breast cancer serum biomarkers for early detection and prognosis in pre-diagnosis samples. *British Journal of Cancer*, 2017. №116. С. 501-508.
3. Zadeh L.A. Fuzzy Logic, Neural Network and Soft Computing. *Communication of the ACM*, 1994. V. 37, N 3. P. 77–84.
4. Babuska R., Verbruggen H. Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification. *Annual Reviews in Control*, 2003. Vol. 27(1). P. 73-85.
5. Kiseleva E.M., Prytomanova O.M., Zhuravel S.V. Mathematical aspects of neuro-fuzzy technology application in project management. *European Cooperation – Scientific Approaches and Applied Technologies*. Warsaw (Poland), 2017. №12. P. 61-70.
6. Zgurovsky M., Zaychenko Y. *The Fundamentals of Computational Intelligence: System Approach*. Springer International Publishing Switzerland 2016. 375 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-35162-9>.
7. Кісельова, О.М., Гарт, Л.Л., Притоманова, О.М., Балейко, Н.В. Нечіткі задачі оптимального розбиття множин: теоретичні основи, алгоритми, застосування: монографія. Дніпро: Ліра, 2020. 400 с.
8. Kiseleva E.M., Prytomanova O.M., Zhuravel S.V. Valuation of Startups Investment Attractiveness Based on Neuro-Fuzzy Technologies. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2016. Vol. 48, Issue 9, P. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v48.i9.10>.
9. *Bulletin of National Cancer Registry of Ukraine, 2014-2019*. Vol.16-21. URL: <http://www.ncru.inf.ua/publications/index.htm>.
10. Офіційний сайт Державного закладу «Центр медичної статистики Міністерства охорони здоров'я України». URL: http://medstat.gov.ua/ukr/statdov_r.html.

Надійшла до редколегії 22.06.2021.