

УДК 004.738.1:316.772.5

МОДЕЛІ ФАКТОРІВ ІНТЕНСИВНОСТІ ВАКЦИНАЦІЇ ВІД COVID-19 З УРАХУВАННЯМ ПРЕДИКАТИВ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ

І. В. Піх^{1,2}, В. М. Сеньківський¹, В. М. Теслюк², І. Г. Цмоць²

¹Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна,

²Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Виокремлено та здійснено формалізоване відтворення множини факторів, дотичних до процесу вакцинації від COVID-19. Виконано графічне відображення зв'язків між факторами за допомогою семантичної мережі — основи інформаційної бази даних, що стала вихідною передумовою для реалізації завдань дослідження. Введено типи залежностей між факторами у мережі. Здійснено опис семантичної мережі з використанням типів залежностей та логіки мови предикатів. Розраховано коефіцієнти вагомості предикатів для встановлених типів зв'язків між факторами. Засобами методології моделювання ієрархій та методу ранжування визначено рівні переваг факторів та синтезовано багаторівневу модель пріоритетного їх впливу на досліджуваний процес.

Ключові слова: фактор, вакцинація, семантична мережа, типи залежностей між факторами, предикати, коефіцієнти вагомості предикатів, ранжування, багаторівнева модель факторів інтенсивності вакцинації.

Постановка проблеми. Поширення COVID-19 у світовому масштабі спонукало медиків у співпраці з вченими до створення засобів протидії зараженню вірусом та мінімізації наслідків від пандемії. Створення та застосування протиковідних вакцин суттєво зменшує кількість інфікованих та деякою мірою забезпечує організацію звичного режиму повсякденної діяльності людей. Водночас суттєвими перепонами для досягнення необхідного рівня та результату вакцинації в Україні є недостатнє усвідомлення частиною населення необхідності вакцинації, недовіра до її ефективності, навіть боязнь суто медичної процедури. Не останню роль відіграє шкідлива діяльність «антивакцинаторів». Водночас зрозуміло, що вказана проблема, крім медичного трактування, містить серйозну соціально-економічну складову, яка зачіпає всі сфери життєдіяльності суспільства. Інша сторона проблеми полягає в тому, що через відсутність широкого спектра науково обґрунтованих розвідок озвученої проблематики недостатньо уваги приділяється більш глибокому аналізу чинників впливу на інтенсивність та ефективність вакцинації. Сказане зумовлює завдання пропонованої статті, що полягають у виокремленні множини факторів,

дотичних до процесу вакцинації, формалізації зв'язків між ними з використанням семантичної мережі, ранжуванні факторів за ваговими критеріями через врахування типів залежностей між ними із застосуванням логіки мови предикатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження та публікації, пов'язані з тематикою статті, умовно можна згрупувати, зорієнтувавши їх на: загальні проблем пандемії [1–4] — виявлення COVID-19, моделювання динаміки, розмірів пандемії в Україні та показників смертності від коронавірусу; періоди виникнення та поширення COVID-19 [5–9] — опрацювання статистичних даних щодо поширення пандемії, формування закономірностей та прогнозування можливої кількості хворих в певному регіоні за відповідний період; лікування і вакцинування [10–20] — розуміння проблеми пандемії, лікування та моделювання впливу вакцинації на поширення пандемії коронавірусу; створення засобів вакцинації та інформаційні публікації про вакцину [21–24].

Аналіз публікацій свідчить про потребу формування і дослідження множини чинників, що стосуються *вакцинації від COVID-19 та* ранжування їх за важливістю впливу на інтенсивність вакцинування.

Мета статті — виокремлення множини факторів, дотичних до процесу вакцинації від COVID-19, та формалізований опис вихідного інформаційного поля з використанням механізму семантичних мереж та елементів логіки предикатів. Розрахунок коефіцієнтів вагомості предикатів для встановлених типів зв'язків між факторами. Ранжування переваг факторів засобами методології моделювання ієрархій та методу ранжування. Синтез багаторівневої модель пріоритетного впливу факторів на досліджуваній процес.

Виклад основного матеріалу дослідження. Початковий крок розв'язання поставленого завдання — виокремлення множини чинників чи факторів, дотичних до процесу вакцинації. Формалізований опис вихідного інформаційного поля здійснимо з використанням механізму семантичних мереж [25] та його відображення на основі введених типів залежностей між факторами та логіки предикатів [26, 27].

Задамо сукупність факторів у вигляді множини лінгвістичних змінних

$$X = \{x_1; x_2; \dots; x_{10}\}, \quad (1)$$

де x_1 — рівень освіченості (РО); x_2 — суспільна думка (щодо загрози коронавірусної інфекції) (СД); x_3 — релігійні переконання (РП); x_4 — вік респондентів (ВР); x_5 — місце проживання (МП); x_6 — доступність до пунктів (вакцинації) (ДП); x_7 — пропускна здатність пунктів вакцинації (ПЗ); x_8 — недовіра до медиків (НМ); x_9 — тип вакцини (ТВ); x_{10} — протипоказання до вакцинації (ПВ).

Подамо семантичну мережу зв'язків між факторами у вигляді орієнтованого графа (рис. 1). Вузли семантичної мережі або її вершини відобразатимуть семантику термів — лінгвістичних факторів-аргументів множини (1), дуги — пари вершин $(x_i, x_j), (i, j = 1 \div 10; i \neq j)$, для котрих визначено зв'язок, ідентифікований предикатами.

У позначеннях на дугах перша цифра вказує номер джерела впливу, друга — залежний від нього фактор.

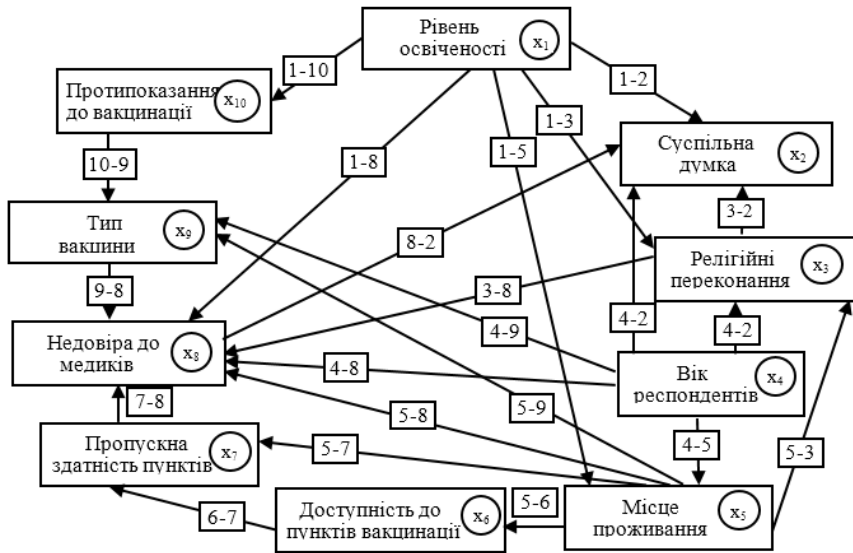


Рис. 1. Семантична мережа факторів впливу на інтенсивність вакцинації

Для опису семантичної мережі використовуємо конструкції мови предикатів, що складаються з простих (атомарних) предикатів і логічних зв'язувань: \wedge — логічне «і»; \vee — логічне «або»; \leftarrow — логічне «якщо»; \forall — квантор спільності (для всіх); \exists — квантор існування (існує принаймні одне) [25]. Остаточні зв'язки між факторами в мережі отримують таке формалізоване відображення:

$(\forall x_i) [\exists (x_1, \text{рівень освіти}) \leftarrow \text{формує } (x_1, x_2) \wedge \text{впливає } (x_1, x_3) \wedge \text{обумовлює } (x_1, x_5) \wedge \text{передбачає } (x_1, x_8) \wedge \text{враховує } (x_1, x_{10})]; (\forall x_i) [\exists (x_2, \text{суспільна думка}) \leftarrow \text{формується } (x_2, x_1) \wedge \text{визначається } (x_2, x_3) \wedge \text{ґрунтується } (x_2, x_4) \wedge \text{обумовлюється } (x_2, x_8)]; (\forall x_i) [\exists (x_3, \text{релігійні переконання}) \leftarrow \text{визначається } (x_3, x_1) \wedge \text{впливає } (x_3, x_2) \wedge \text{обумовлюється } (x_3, x_4) \wedge \text{формується } (x_3, x_5) \wedge \text{формує } (x_3, x_8)]; (\forall x_i) [\exists (x_4, \text{вік респондентів}) \leftarrow \text{впливає } (x_4, x_2) \wedge \text{обумовлює } (x_4, x_3) \wedge \text{визначає } (x_4, x_5) \wedge \text{впливає } (x_4, x_8) \wedge \text{передбачає } (x_4, x_9)]; (\forall x_i) [\exists (x_5, \text{місце проживання}) \leftarrow \text{обумовлюється } (x_5, x_1) \wedge \text{обумовлює } (x_5, x_3) \wedge \text{визначається } (x_5, x_4) \wedge \text{визначає } (x_5, x_6) \wedge \text{впливає } (x_5, x_7) \wedge \text{обумовлює } (x_5, x_8) \wedge \text{визначає } (x_5, x_9)]; (\forall x_i) [\exists (x_6, \text{доступність до пунктів}$

вакцинації) \leftarrow визначається $(x_6, x_5) \wedge$ обумовлює (x_6, x_7)]; $(\forall x_i) [\exists (x_7,$
пропускна здатність пунктів) \leftarrow визначається $(x_7, x_5) \wedge$ обумовлюється (x_7, x_6)
 \wedge впливає (x_7, x_8)]; $(\forall x_i) [\exists (x_8,$ недовіра до медиків) \leftarrow обумовлюється (x_8, x_1)
 \wedge впливає $(x_8, x_2) \wedge$ визначається \wedge ґрунтується $(x_8, x_4) \wedge$ обумовлюється
 $(x_8, x_5) \wedge$ отримує $(x_8, x_7) \wedge$ визначається (x_8, x_9)]; $(\forall x_i) [\exists (x_9,$ тип вакцини)
 \leftarrow передбачається $(x_9, x_4) \wedge$ визначається $(x_9, x_5) \wedge$ визначає $(x_9, x_8) \wedge$
визначається (x_9, x_{10})]; $(\forall x_i) [\exists (x_{10},$ протипоказання до вакцинації) \leftarrow
враховується $(x_{10}, x_1) \wedge$ обумовлює (x_{10}, x_9)].

Упорядкуємо атомарні предикати різних типів, приєднавши їх до відповідних факторів:

- x_1 (рівень освіченості) — формує, впливає, обумовлює, передбачає, враховує;
- x_2 (суспільна думка) — формується, визначається, ґрунтується, обумовлюється;
- x_3 (релігійні переконання) — визначається, впливає, обумовлюється, формується, формує;
- x_4 (вік респондентів) — впливає, обумовлює, визначає, впливає, передбачає;
- x_5 (місце проживання) — передбачається, обумовлює, визначається, визначає, впливає, обумовлює, визначає;
- x_6 (доступність до пунктів вакцинації) — визначається, обумовлює;
- x_7 (пропускна здатність пунктів) — визначається, обумовлюється, впливає;
- x_8 (недовіра до медиків) — обумовлюється, впливає, визначається, ґрунтується, обумовлюється, отримує, визначається;
- x_9 (тип вакцини) — передбачається, визначається, визначає, обумовлюється;
- x_{10} (протипоказання до вакцинації) — враховується, обумовлює.

Перш ніж перейти до встановлення рангів факторів за умови врахування міри впливу приєднаних до них лінгвістичних предикатів, необхідно отримати числові ваги впливу факторів на процес вакцинації незалежно від предикатів.

Для розрахунку сумарних вагових значень прямого та опосередкованого впливів факторів та їх інтегральної залежності від інших факторів введемо відповідні позначення. Нехай z_{ij} — кількість впливів чи залежностей для j -го фактора ($j=1, \dots, n$); w_i — вага i -го типу. При цьому розрізнятимемо такі різновиди зв'язків між факторами, які узалежнимо від значення індексу зв'язку для певного типу. Позначимо: $i=1$ — впливи 1-го порядку; $i=2$ — впливи 2-го порядку; $i=3$ — залежності 1-го порядку; $i=4$ — залежності 2-го порядку. Здійснюючи розрахунки, встановлюємо деякі умовні значення для вагових коефіцієнтів стосовно типів залежностей. Вважатимемо, що для впливів обох типів ваги будуть додатними,

тобто $w_1 > 0$, $w_2 = w_1/2$, відповідно для залежностей — від'ємними, а саме: $w_3 < 0$, $w_4 = w_3/2$. Інтегральні вагові величини факторів за сумами ваг усіх типів зв'язків позначимо через S_{ij} [26, 27].

Остаточно отримаємо таку формулу для розрахунків:

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n z_{ij} w_i, \quad (2)$$

де n — умовний номер фактора досліджуваного процесу.

Формула (2) забезпечує розрахунок сумарних числових пріоритетів факторів інтенсивності вакцинації для чотирьох типів зв'язків, які ми визначили, що обумовить встановлення рівнів їх важливості та забезпечить прийняття більш обґрунтованих рішень щодо здійснення вакцинації з урахуванням епідеміологічної ситуації в певному регіоні. Зрозуміло, що за відсутності зв'язків $z_{ij} = 0$.

Оскільки згідно із заданими вихідними умовами $w_3 < 0$ і $w_4 < 0$, то, відповідно, $S_{3j} < 0$ і $S_{4j} < 0$ [26]. Для приведення вагових значень факторів «до початку координат», тобто одержання додатних величин, необхідно перемістити гістограму інтегрального графічного відображення усіх типів зв'язків вгору на

$$\Delta_j = \max |S_{3j}| + \max |S_{4j}|, \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

З урахуванням (3) остаточно формула, що забезпечить розрахунок кінцевих числових пріоритетів факторів, отримає таке трактування [26]:

$$S_{Fj} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^n (z_{ij} w_i + \max |S_{3j}| + \max |S_{4j}|). \quad (4)$$

Величини S_{Fj} слугуватимуть підставою для ранжування міри впливу факторів на якість реалізації процесу вакцинації, що своєю чергою обумовить отримання рівнів пріоритетності виокремлених чинників.

Основою для розрахунків візьмемо семантичну мережу факторів впливу на інтенсивність вакцинації (рис. 1), аналіз якої уможливує отримання кількісних показників зв'язків різного типу, приєднаних до кожного з факторів. Крім того, вважатимемо, що для впливів обох типів ваги будуть додатними та отримують такі умовні значення: $w_1 = 10$, $w_2 = 5$. Відповідно, для залежностей — від'ємні, а саме: $w_3 = -10$, $w_4 = -5$. Інтегральні вагові переваги факторів за сумами ваг усіх типів зв'язків позначимо відповідно до формули (2) через S_{ij} .

У результаті отримаємо таблицю пріоритетів факторів, на підставі яких встановлено рівні їх впливу на інтенсивність вакцинації від COVID-19 (табл. 1).

З огляду на табл. 1 отримано попередній порядок рівнів пріоритетного впливу факторів на інтенсивність вакцинації. Нагадаємо, що у цьому випадку враховуються тільки «чисті» зв'язки між факторами без врахування впливу предикатів. Оскільки задекларовані в семантичній мережі графічні зв'язки супроводжуються додатковими лінгвістичними характеристиками, заданими атомарними предикатами, що посилюють чи послаблюють взаємодію між факторами, доцільно врахувати їх вплив на загальні пріоритети чинників вакцинації, що, зрозуміло, обумовить модифікацію даних табл. 1 та визначить ранги та відповідні їм остаточні рівні вагомості факторів.

Таблиця 1

Розрахункові дані попереднього ранжування факторів

| j | z_{1j} | z_{2j} | z_{3j} | z_{4j} | S_{1j} | S_{2j} | S_{3j} | S_{4j} | S_{Fj} | Рівень пріор. |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 5 | 9 | 0 | 0 | 50 | 45 | 0 | 0 | 195 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 4 | 8 | 0 | 0 | -40 | -40 | 20 | 8 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 20 | 5 | -30 | -10 | 85 | 5 |
| 4 | 5 | 9 | 0 | 0 | 50 | 45 | 0 | 0 | 195 | 1 |
| 5 | 5 | 6 | 2 | 0 | 50 | 30 | -20 | 0 | 160 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 10 | 5 | -10 | -10 | 95 | 4 |
| 7 | 1 | 1 | 2 | 3 | 10 | 5 | -20 | -15 | 80 | 6 |
| 8 | 1 | 0 | 6 | 10 | 10 | 0 | -60 | -50 | 0 | 9 |
| 9 | 1 | 1 | 3 | 3 | 10 | 5 | -30 | -15 | 70 | 7 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 | 5 | -10 | 0 | 105 | 3 |

Для числової ідентифікації предикатів введемо так звані коефіцієнти вагомості предикатів, суть яких полягатиме у визначенні числової міри посилення чи послаблення взаємодії між факторами залежно від приєднаних лінгвістичних предикатів і типів залежностей. Отже, нехай k_{ip} — коефіцієнти вагомості предикатів, що ідентифікують посилення впливів чи залежностей для p -го предиката i -го типу впливу. Як і раніше, різновиди зв'язків між факторами співвіднесемо з індексом зв'язку певного типу, а саме: $i=1$ — впливи 1-го порядку (прямі); $i=2$ — впливи 2-го порядку (опосередковані — через інший фактор); $i=3$ — залежності 1-го порядку (прямі); $i=4$ — залежності 2-го порядку (опосередковані — при переході через інший фактор) [26].

Остаточню встановимо відношення між коефіцієнтами вагомості предикатів таким чином: $k_{2p_i} = k_{1p_i} / 2$; $k_{4p_i} = k_{3p_i} / 2$ (l — номер предиката).

Для врахування наведених вище умов використаємо таблицю, наведену у праці [26], в якій обумовлено лінгвістичне трактування предикатів різного типу зв'язків між факторами та їх числові умовні ваги.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів вагомості предикатів стосовно типів залежностей

| l | Назва предиката (вплив) | k_{1p_i} | k_{2p_i} | Назва предиката (залежність) | k_{3p_i} | k_{4p_i} |
|-----|-------------------------|------------|------------|------------------------------|------------|------------|
| 1 | визначає | 4 | 2 | визначається | 4 | 2 |
| 2 | формує | 4 | 2 | формується | 4 | 2 |
| 3 | обумовлює | 3 | 1.5 | обумовлюється | 3 | 1.5 |
| 4 | стає основою | 4 | 2 | ґрунтується | 4 | 2 |
| 5 | передбачає | 2.5 | 1.25 | передбачається | 2.5 | 1.25 |
| 6 | враховує | 2.5 | 1.25 | враховується | 2.5 | 1.25 |
| 7 | впливає | 3 | 1.5 | отримує | 3 | 1.5 |

Для кращого розуміння подальшого викладу матеріалу наведемо множини коефіцієнтів, приєднаних до факторів, які ідентифікують прямі впливи:

$$\begin{aligned}
 x_1 \subset M11 &= \{k_{1,p_2}; k_{1,p_3}; k_{1,p_5}; k_{1,p_6}; k_{1,p_7}\}; \quad x_2 \subset M12 = \{0\}; \\
 x_3 \subset M13 &= \{k_{1,p_7}; k_{1,p_2}\}; \quad x_4 \subset M14 = \{k_{1,p_1}; k_{1,p_3}; k_{1,p_5}; k_{1,p_7}; k_{1,p_7}\}; \\
 x_5 \subset M15 &= \{k_{1,p_1}; k_{1,p_3}; k_{1,p_3}; k_{1,p_7}; k_{1,p_7}\}; \quad x_6 \subset M16 = \{k_{1,p_3}\}; \quad x_7 \subset M17 = \{k_{1,p_7}\}; \\
 x_8 \subset M18 &= \{k_{1,p_7}\}; \quad x_9 \subset M19 = \{k_{1,p_1}\}; \quad x_{10} \subset M110 = \{k_{1,p_3}\}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Згідно з виразом (5) фактор x_j характеризується множиною $M11$, x_2 — множиною $M12$ і т. д. Перша цифра числа в імені множини визначає тип зв'язку, друга вказує порядковий номер фактора. Підставляючи у вирази (5) числові значення відповідних коефіцієнтів з табл. 2, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 x_1 \subset M11 &= \{4; 3; 2, 5; 2, 5; 3\}; \quad x_2 \subset M12 = \{0\}; \quad x_3 \subset M13 = \{3; 4\}; \\
 x_4 \subset M14 &= \{4; 3; 2, 5; 3; 3\}; \quad x_5 \subset M15 = \{4; 3; 3; 3; 3\}; \quad x_6 \subset M16 = \{3\}; \\
 x_7 \subset M17 &= \{3\}; \quad x_8 \subset M18 = \{3\}; \quad x_9 \subset M18 = \{4\}; \quad x_{10} \subset M18 = \{3\}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Утворимо для першого фактора множини, елементами яких будуть формалізовані узагальнені відображення числових значень предикатів з врахуванням усіх типів зв'язків. При цьому кількість елементів у множинах позначимо величиною Z_{ij} , значення якої визначається з виразів (6).

$$\begin{aligned}
 M11 &= \{m11_1, m11_2, \dots, m11_{z_{11}}\}, \quad M21 = \{m21_1, m21_2, \dots, m21_{z_{21}}\}, \\
 M31 &= \{m31_1, m31_2, \dots, m31_{z_{31}}\}, \quad M41 = \{m41_1, m41_2, \dots, m41_{z_{41}}\}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Усереднені значення коефіцієнтів посилення дії предикатів для першого фактора та множин (7) отримаємо з виразів [26]:

$$\begin{aligned}
 k_{11} &= \sum_{r=1}^{z_{11}} (m11_r / z_{11}), \quad k_{21} = \sum_{r=1}^{z_{21}} (m11_r / z_{21}), \\
 k_{31} &= \sum_{r=1}^{z_{31}} (m11_r / z_{31}), \quad k_{41} = \sum_{r=1}^{z_{41}} (m11_r / z_{41}).
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Остаточно для розрахунку середніх значень коефіцієнтів дії довільного фактора та заданих типів зв'язків у мережі (рис. 1) отримаємо такий вираз:

$$k_{ij} = \sum_{r=1}^{z_{ij}} (m_{ij,r} / z_{ij}), \text{ для } i=1,2,3,4; j=1,2,\dots,10. \quad (9)$$

Уточнені вагові значення факторів G_{ij} отримаємо, помноживши коефіцієнти k_{ij} на сумарні часткові ваги S_{ij} (табл. 1). У зв'язку з тим, що прийняті вище значення $w_3 < 0$ і $w_4 < 0$, то відповідні величини $G_{3j} < 0$ і $G_{4j} < 0$.

Однотипні додатні значення можна отримати, якщо змістити отримані числові результати (як додатні, так і від'ємні) на величину

$$\Delta_j = \max |G_{3j}| + \max |G_{4j}|, \quad (j=1,2,\dots,10). \quad (10)$$

З урахуванням (10) і табл. 1 кінцевий вираз для підрахунку уточнених вагових значень факторів матиме такий вигляд:

$$G_{Fj} = INT \left(\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{10} (k_{ij} S_{ij} + \Delta_j) \right). \quad (11)$$

Для реалізації алгоритму обчислимо середні значення коефіцієнтів, використовуючи (6), (9) і (11). Результати оформимо у табл. 3, у якій врахування додаткового впливу предикатів забезпечує уточнені рівні важливості факторів.

Таблиця 3

Ранжування факторів інтенсивності вакцинації з урахуванням предикатів семантичних мереж

| j | k_{1j} | k_{2j} | k_{3j} | k_{4j} | G_{1j} | G_{2j} | G_{3j} | G_{4j} | G_{Fj} | Рівень пріор. |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | 3 | 1.67 | 0 | 0 | 150 | 75.1 | 0 | 0 | 461 | 2 |
| 2 | 0 | 0 | 3.25 | 1.59 | 0 | 0 | -130 | -63.6 | 42 | 9 |
| 3 | 3,5 | 2 | 3 | 1.5 | 70 | 10 | -90 | -15 | 211 | 6 |
| 4 | 3.1 | 1.72 | 0 | 0 | 155 | 77.4 | 0 | 0 | 468 | 1 |
| 5 | 3.2 | 1.66 | 3.5 | 0 | 160 | 49.8 | -70 | 0 | 430 | 3 |
| 6 | 3 | 1.5 | 3 | 1.75 | 30 | 7.5 | -30 | -17.5 | 226 | 5 |
| 7 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 30 | 7.5 | -60 | -22.5 | 191 | 7 |
| 8 | 3 | 0 | 3.25 | 1.42 | 30 | 0 | -195 | -71 | 0 | 10 |
| 9 | 4 | 2 | 3.16 | 1.58 | 40 | 10 | -94.8 | -23.7 | 161 | 8 |
| 10 | 3 | 1.5 | 2.5 | 0 | 30 | 7.5 | -25 | 0 | 248 | 4 |

Результатом ранжування стає оптимізована багаторівнева модель пріоритетного впливу виокремлених факторів на інтенсивність вакцинації від COVID-19 в Україні, отримана з урахуванням вагомості предикатів семантичної мережі (рис. 1), що ідентифікують посилення чи послаблення зв'язків між факторами.



Рис. 2. Оптимізована модель факторів впливу на інтенсивність вакцинації з урахуванням предикатів семантичної мережі

Висновки. Виконано огляд літературних джерел, дотичних до запропонованої тематики. Наголошено на недостатності наукових розвідок вказаної проблематики та обумовлено потребу формування і дослідження множини чинників, що стосуються вакцинації від COVID-19 та ранжування їх за важливістю впливу на інтенсивність вакцинування. Здійснено виокремлення множини факторів впливу на інтенсивність вакцинації та реалізовано графічне відображення зв'язків між ними засобом семантичної мережі, опис якої здійснено з використанням конструкцій мови предикатів. Встановлено та розраховано коефіцієнти вагомості предикатів для різних типів зв'язків між факторами. За методом ранжування визначено рівні переваг факторів та синтезовано багаторівневу модель пріоритетного їх впливу на інтенсивність вакцинації від COVID-19 в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Perumal Varalakshmi et al. Detection of COVID-19 Using CXR and CT Images Using Transfer Learning and Haralick Features. *Applied Intelligence*. Aug. 2020. DOI.org (Crossref). doi:10.1007/s10489-020-01831-z.
2. Kyrychko Y. N., Blyuss K. B., Brovchenko I. Mathematical modelling of the dynamics and containment of COVID-19 in Ukraine. *Scientific reports*. 2020. 10 (1). 1–11.

3. Nesteruk I. Visible and real sizes of the COVID-19 pandemic in Ukraine. *medRxiv*. 2021.
4. Shekera O. G. Analytical review of the global coronavirus infection pandemic in Ukraine. *Health of Society*. 2021. 10 (1). 14–25.
5. Bayes C., Rosas V. S. y., Valdivieso L. Modelling death rates due to COVID-19: A Bayesian approach. *arXiv e-prints*. 2020.
6. Semerikov S., Chukharev S., Sakhno S., Striuk A., Osadchyi V., Solovieva V., Danylchuk H. Our sustainable coronavirus future. 2020.
7. Chimmula V. K. R., Zhang L. Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. 135. 109864. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109864>.
8. Моніторинг ситуації із кількістю госпіталізованих осіб з підозрою та підтвердженими випадками захворювання на COVID-19 в Україні. URL: https://public.tableau.com/profile/publicviz#!/vizhome/monitor_15841091301660/sheet0.
9. ФОРСАЙТ COVID-19: Середня фаза розвитку. URL: <http://wdc.org.ua/uk/covid19-ua>.
10. Павлюк О. М., Федевич О. Ю., Стронціцька А.-О. А. Прогнозування кількості хворих на COVID-19 у Львівській області. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 3. С. 57–64.
11. Buonomo B. Effects of information-dependent vaccination behavior on coronavirus outbreak: insights from a SIRI model. *Ricerche di Matematica*. 2020. 69 (2). 483–499.
12. Bloom D. E., Canning D., Weston M. (2017). The value of vaccination. In *Fighting the Diseases of Poverty*. Pp. 214–238. Routledge.
13. Paul A., Sikdar D., Mahanta J., Ghosh S., Javed M. A., Paul S., ... Nath T. K. Peoples' understanding, acceptance, and perceived challenges of vaccination against COVID-19: A cross-sectional study in Bangladesh. *PloS one*. 2021. 16 (8). e0256493.
14. Walkowiak M. P., Walkowiak D. Predictors of COVID-19 vaccination campaign success: lessons learnt from the pandemic so far. a case study from Poland. *Vaccines*. 2021. 9 (10). 1153.
15. Troiano G., Nardi A. Vaccine hesitancy in the era of COVID-19. *Public Health*. 2021.
16. Peng L., Guo Y., Hu D. Information framing effect on public's intention to receive the COVID-19 vaccination in China. *Vaccines*. 2021. 9 (9). 995.
17. Campos-Mercade P., Meier A. N., Schneider F. H., Meier S., Pope D., Wengström E. Monetary incentives increase COVID-19 vaccinations. *Science*. 2021. 374 (6569). 879–882.
18. Al-Amer R., Maneze D., Everett B., Montayre J., Villarosa A. R., Dwekat E., & Salamonson Y. COVID-19 vaccination intention in the first year of the pandemic: A systematic review. *Journal of clinical nursing*. 2022. 31 (1–2). 62–86.
19. Ahmad W., Abbas M., Rafiq M., Baleanu D. Mathematical analysis for the effect of voluntary vaccination on the propagation of Corona virus pandemic. *Results in Physics*. 2021. 31. 104917.
20. Below D., Mairanowski F. The impact of vaccination on the spread patterns of the COVID epidemic. *medRxiv*. 2021.
21. Cihan P. Forecasting fully vaccinated people against COVID-19 and examining future vaccination rate for herd immunity in the US, Asia, Europe, Africa, South America, and the World. *Applied Soft Computing*. 2021. 111. 107708.
22. Інформація про вакцину від Всесвітньої організації охорони здоров'я: URL: https://bit.ly/Comirnaty_WHO.

23. Інформація про вакцину від Європейського агентства з лікарських засобів. URL: https://bit.ly/Comirnaty_EMA. bit.ly/CoronaVac70 ; *AstraZeneca*. www.astrazeneca.com.
24. Інформація про вакцину Всесвітньої організації охорони здоров'я: www.who.int/news-room/feature-stories/detail/the-oxford-astrazeneca-covid-19-vaccine-what-you-need-to-know. URL: bit.ly/UK_delta.
25. Матвеев В. Семантичні мережі. URL: matveev.kiev/exprt/t5.pdf.
26. Піх І. В. Методологічні основи інформаційних технологій формування та прогностичного оцінювання якості книжкових видань : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06. Львів : УАД, 2018. 44 с.
27. Pikh I. V., Durnyak B. V., Senkivskyy V. M., Holubnyk T. S. Information technology of formation of book edition quality : Monograph. Lviv : Ukrainian Academy of Printing, 2017. 308 p.

REFERENCES

1. Perumal, Varalakshmi et al. (Aug. 2020). Detection of COVID-19 Using CXR and CT Images Using Transfer Learning and Haralick Features: Applied Intelligence. DOI.org (Crossref). doi:10.1007/s10489-020-01831-z (in English).
2. Kyrychko, Y. N., Blyuss, K. B., & Brovchenko, I. (2020). Mathematical modelling of the dynamics and containment of COVID-19 in Ukraine: Scientific reports, 10 (1), 1–11 (in English).
3. Nesteruk, I. (2021). Visible and real sizes of the COVID-19 pandemic in Ukraine: medRxiv (in English).
4. Shekera, O. G. (2021). Analytical review of the global coronavirus infection pandemic in Ukraine: Health of Society, 10 (1), 14–25 (in English).
5. Bayes, C., & Rosas V. S. y., & Valdivieso, L. (2020). Modelling death rates due to COVID-19: A Bayesian approach: arXiv e-prints (in English).
6. Semerikov, S., Chukharev, S., Sakhno, S., Striuk, A., Osadchyi, V., Solovieva, V., & Danylchuk, H. (2020). Our sustainable coronavirus future (in English).
7. Chimmula, V. K. R., & Zhang, L. (2020). Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks: Chaos, Solitons & Fractals, 135, 109864. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109864> (in English).
8. Monitorynh sytuatsii iz kilkistiu hospitalizovanykh osib z pidozroiу ta pidtverdzhenyymy vypadkamy zakhvoriuvannia na COVID-19 v Ukraini. Retrieved from https://public.tableau.com/profile/publicviz#!/vizhome/monitor_15841091301660/sheet0 (in Ukrainian).
9. FORSAIT COVID-19: Serednia faza rozvytku. Retrieved from <http://wdc.org.ua/uk/covid19-ua> (in Ukrainian).
10. Pavliuk, O. M., Fedevych, O. Yu., & Strontsitska, A.-O. A. (2020). Prohnozuvannia kilkosti khvorykh na COVID-19 u Lvivskii oblasti: Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, 3, 57–64 (in Ukrainian).
11. Buonomo, B. (2020). Effects of information-dependent vaccination behavior on coronavirus outbreak: insights from a SIRI model: Ricerche di Matematica, 69 (2), 483–499 (in English).
12. Bloom, D. E., Canning, D., & Weston, M. (2017). The value of vaccination. In *Fighting the Diseases of Poverty*, 214–238. Routledge (in English).

13. Paul, A., Sikdar, D., Mahanta, J., Ghosh, S., Javed, M. A., Paul, S., ... & Nath, T. K. (2021). Peoples' understanding, acceptance, and perceived challenges of vaccination against COVID-19: A cross-sectional study in Bangladesh: *PloS one*, 16 (8), e0256493 (in English).
14. Walkowiak, M. P., & Walkowiak, D. (2021). Predictors of COVID-19 vaccination campaign success: lessons learnt from the pandemic so far. A case study from Poland: *Vaccines*, 9 (10), 1153 (in English).
15. Troiano, G., & Nardi, A. (2021). Vaccine hesitancy in the era of COVID-19: *Public Health* (in English).
16. Peng, L., Guo, Y., & Hu, D. (2021). Information framing effect on public's intention to receive the COVID-19 vaccination in China: *Vaccines*, 9 (9), 995 (in English).
17. Campos-Mercade, P., Meier, A. N., Schneider, F. H., Meier, S., Pope, D., & Wengström, E. (2021). Monetary incentives increase COVID-19 vaccinations: *Science*, 374 (6569), 879–882 (in English).
18. Al-Amer, R., Maneze, D., Everett, B., Montayre, J., Villarosa, A. R., Dwekat, E., & Salamonsen, Y. (2022). COVID-19 vaccination intention in the first year of the pandemic: A systematic review: *Journal of clinical nursing*, 31 (1–2), 62–86 (in English).
19. Ahmad, W., Abbas, M., Rafiq, M., & Baleanu, D. (2021). Mathematical analysis for the effect of voluntary vaccination on the propagation of Corona virus pandemic: *Results in Physics*, 31, 104917 (in English).
20. Below, D., & Mairanowski, F. (2021). The impact of vaccination on the spread patterns of the COVID epidemic: *medRxiv* (in English).
21. Cihan, P. (2021). Forecasting fully vaccinated people against COVID-19 and examining future vaccination rate for herd immunity in the US, Asia, Europe, Africa, South America, and the World: *Applied Soft Computing*, 111, 107708 (in English).
22. Informatsiia pro vaktsynu vid Vsesvitnoi orhanizatsii okhorony zdorov'ia: Retrieved from https://bit.ly/Comirnaty_WHO (in Ukrainian).
23. Informatsiia pro vaktsynu vid Yevropeiskoho ahentstva z likarskykh zasobiv. Retrieved from https://bit.ly/Comirnaty_EMA. bit.ly/CoronaVac70; AstraZeneca. www.astrazeneca.com (in Ukrainian).
24. Informatsiia pro vaktsynu Vsesvitnoi orhanizatsii okhorony zdorov'ia: www.who.int/newsroom/feature-stories/detail/the-oxford-astrazeneca-covid-19-vaccine-what-you-need-to-know. Retrieved from bit.ly/UK_delta (in Ukrainian).
25. Matveiev, V. Semantychni merezhi. Retrieved from matveiev.kiev/expert/t5.pdf (in Ukrainian).
26. Pikh, I. V. (2018). Metodolohichni osnovy informatsiinykh tekhnolohii formuvannia ta prohnostychnoho otsiniuvannia yakosti knyzhkovykh vydan : avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.13.06. Lviv : UAD (in Ukrainian).
27. Pikh, I. V., Durnyak, B. V., Senkivskyy, V. M., & Holubnyk, T. S. (2017). Information technology of formation of book edition quality. Lviv : Ukrainian Academy of Printing (in English).

doi: 10.32403/1998-6912-2022-1-64-63-75

MODELS OF INTENSITY FACTORS OF COVID-19 VACCINATIONS TAKING INTO ACCOUNT PREDICATES OF SEMANTIC NETWORKS

I. V. Pikh^{1,2}, V. M. Senkivskyy¹, V. M. Teslyuk², I. H. Tsmots²

¹*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

²*Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandery St., Lviv, 79013, Ukraine
senk.vm@gmail.com*

The consequences of the COVID pandemic led to the combined efforts of physicians and virologists to create tools to counter the active spread of COVID-19 worldwide. The development and use of anti-COVID vaccines reduce the number of infected and restore regular human activity. However, achieving the required level and results of vaccination is unfortunately accompanied by a lack of awareness of the need for this procedure, the emergence of false claims about its effectiveness and possible negative consequences. Not the least role in this situation should be given to the harmful effects of certain groups of people, which can be called “anti-vaccines”. It is also clear that this problem significantly affects the socio-economic situation, which influences all spheres of society. On the other hand, there is a lack of a wide range of scientifically sound researches of the voiced issues, insufficient attention is paid to a deeper analysis of the factors influencing the intensity and effectiveness of vaccination.

The suggested article analyzes the publications on this topic and notes the lack of work focused on the use of modern information technology to study the mentioned issues. As a result, there is a lack of research related to the formation of components of the information database aimed at identifying factors influencing the vaccination process, establishing and formalizing the links between them, prioritizing the factors involved in this process. The publication focuses on the isolation and formalized reproduction of many factors related to the COVID-19 vaccination process. A graphical representation of the relationships between factors is done using the semantic network – the basis of the information database, which became the initial prerequisite for the implementation of the research objectives. Types of dependencies between factors in the network with the use of predicate language constructions are introduced. A formalized description of the semantic network is done using the types of dependencies and atomic predicates. Predicate weighting factors are calculated for the specified types of relationships between factors. The levels of factor preferences are determined by means of hierarchy modeling methodology and ranking method and a multilevel model of their priority influence on the vaccination process is synthesized.

Keywords: *factor, vaccination, semantic network, dependency types between factors, predicates, coefficients of predicate weight, ranking, multilevel model of vaccination intensity factors.*

*Стаття надійшла до редакції 22.03.2022.
Received 22.03.2022.*