

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

INFORMATION TECHNOLOGY

DOI: 10.20998/2079-0023.2025.01.06

УДК 004.42:519.8

О. Ю. МЕЛЬНИКОВ, кандидат технічних наук (PhD), доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень; м. Краматорськ, Україна; e mail: alexandr@melnikov.in.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2701-8051>

Д. С. КОЗУБ, студент, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна, e mail: dima.kozub13@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2522-5241>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ ЗАХВОРЮВАНOSTІ ПІД ЧАС ПАНДЕМІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДАНИХ R

Розглядається проблема аналізу впливу різних факторів на рівень захворюваності під час пандемії. Сформульовано задачу розрахунку ефективності протиепідемічних заходів та змінення відсотка загально хворих у цілому та тих, хто переніс хворобу у важкій формі. Як вхідні фактори прогнозу моделі розглядаються «масковий режим», карантин, дистанційне навчання, можливість вакцинації, наявність обов'язкової вакцинації, відсоток вакцинованих. Вихідні фактори – це відсоток загально інфікованих та відсоток тих, хто отримав ускладнення після захворювання (в останньому випадку відсоток загально інфікованих додається до вхідних факторів). Також сформульовано задачу розрахунку впливу різних факторів на рівень захворюваності населення на прикладі статистики COVID-19 в низці країн (Бразилії, Німеччині, Японії, Україні та США). Було проведено аналіз основних вхідних факторів, таких як кліматичні умови, густота населення, вік населення, рівень вакцинації, соціально-економічні умови, чисельність населення та заходи протидії пандемії. Створено набори даних, які базуються на реальних показниках. Для розв'язання обох задач використано метод штучних нейронних мереж. Розроблено скрипт мовою програмування та аналізу даних R. Розрахунки свідчать, що для досягнення найкращого результату прогнозування чисельності загально інфікованих потрібно застосувати перцептрон, який має два прихованих шари, кожен з яких складається з п'ятих нейронів. Для досягнення найкращого результату прогнозування чисельності тяжких хворих потрібно застосувати перцептрон, який має три прихованих шари, кожен з яких складається з трьох нейронів. В обох варіантах рекомендована сигмоїдальна функція активації. Перша модель була використана для аналізу рівня впливу перелічених факторів на рівень захворюваності. Виявлено, що мінімальний вплив на визначення зміни чисельності загально інфікованих має або загальна можливість пройти вакцинацію, або сполучення обов'язкового маскового режиму із запровадженням дистанційного навчання. Мінімальну вагу при розрахунку чисельності тяжких хворих має сполучення тієї ж можливості пройти вакцинацію із запровадженням дистанційного навчання. В обох випадках максимальний вплив має запровадження обов'язкової вакцинації. У ході дослідження впливу показників різних країн було встановлено, що рівень захворюваності значною мірою залежить від таких факторів, як густота населення, рівень вакцинації та соціально-економічні умови. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення стратегій протиепідемічних заходів та покращення управлінських рішень у сфері охорони здоров'я.

Ключові слова: фактори, статистика, рівень захворюваності, COVID-19, прогнозування, штучні нейронні мережі, мова R.

Вступ. Серед комплексних медико-оздоровчих показників особливе місце займає захворюваність. Її медико-соціальне значення полягає в тому, що саме захворювання є основною причиною смерті, тимчасової та стійкої втрати працездатності, що своєю чергою завдає величезних економічних збитків суспільству, негативно впливає на здоров'я майбутніх поколінь, призводить до скорочення чисельності населення. Дані про захворюваність населення мають важливе значення для організації роботи органів охорони здоров'я та медичних установ, для поточного та майбутнього мережевого планування, а також для планування навчання персоналу. Різноманітні захворювання мають як локальне, так і глобальне поширення, тому необхідно проводити відповідні заходи профілактики та лікування відповідно до умов конкретних регіонів [1].

Огляд літератури. У сучасних умовах цифровізації охорони здоров'я важливого значення набувають інформаційні системи, які дозволяють не лише аналізувати епідеміологічну ситуацію, а й прогнозувати динаміку захворюваності з урахуванням численних чинників, таких як клімат, густота населення, вік, соціальні умови тощо. Це сприяє підвищенню ефективності управлінських рішень у галузі охорони здоров'я та своєчасному впровадженню необхідних профілактичних заходів [2–4].

Метою даної роботи є на прикладі статистики захворюваності та статистики вхідних факторів дослідити вплив різних факторів на захворюваність. Оскільки остання пандемія стосувалася хвороби COVID-19, будемо розглядати інформацію щодо неї. Великі обсяги статистичної інформації можна знайти на сайті ВООЗ (Всесвітня організація охорони здоров'я) – це

© Мельников О. Ю., Козуб Д. С., 2025



Дослідницька стаття: Цю статтю опубліковано видавництвом **НТУ «ХПІ»** у збірнику «Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Common Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). **Конфлікт інтересів:** Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



найактуальніша статистика по COVID-19 для кожної країни, а також регулярні звіти та рекомендації [5]. Університет Джона Хопкінса (Johns Hopkins University) розробив інтерактивну карту для відстеження статистики COVID-19, що забезпечує деталізовану статистику зі кількістю випадків, смертей і виписок по регіонах [6]. Eurosurveillance – наукове видання, яке публікує статті та звіти, що містять статистичні дані щодо спалахів інфекційних захворювань, включаючи COVID-19, в Європі. Публікує дослідження, прогнози та оцінки щодо розвитку пандемії, надає детальну статистику, включаючи аналіз, варіанти штамів та ефективність вакцин [7]. CDC (Centers for Disease Control and Prevention) є головним американським центром, що публікує інформацію про захворювання в США, включаючи статистику COVID-19. CDC надає детальну інформацію про випадки зараження, смертність, а також ефективність заходів контролю. забезпечує національну статистику, включаючи кількість випадків, смертей, темпи вакцинації та інші показники [8]. Our World in Data – платформа, яка надає відкриті дані з багатьох глобальних проблем, включаючи COVID-19 [9]. Сайт містить широкий спектр статистики по COVID-19 для всіх країн, включаючи дані про вплив пандемії на економіку та суспільство. Що стосується саме України, то щомісячні статистичні дані щодо збільшення відсотка інфікованих під час пандемії та тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі, а також переліку протиепідемічних заходів, що застосовуються в цей період у даному регіоні можна знайти на [10].

Постановка задачі. Задачу дослідження впливу різних факторів на рівень захворюваності під час пандемії можна розділити на дві окремих підзадачі.

По-перше, можна оцінити ефективність вжитих протиепідемічних заходів і здійснити прогнозування зміни відсотка загально інфікованих і тих, хто має ускладнення після захворювання.

Вхідні фактори:

M – обов'язковий «масковий режим» (Masks);

Q – введення карантину, тобто скасування усіх масових заходів, наявність антисептиків у всіх закладах тощо (Quarantine);

D – запровадження дистанційного навчання у навчальних закладах (Distance Learning);

V – наявність можливості вільної вакцинації (Vaccine_optional);

Z – запровадження обов'язкової вакцинації (Vaccination_is_mandatory);

P – відсоток осіб, що пройшли вакцинацію (Percentage_of_Vaccinated).

Вихідні фактори:

I – зміна відсотка інфікованих (Infected);

S – зміна відсотка тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі (Severe_cases).

Під час розрахунку зміни частки тих, хто має ускладнення після захворювання, перший фактор є додатковим вхідним фактором.

По-друге, можна дослідити вплив факторів особливості країни на рівень захворюваності під час пандемії [11]. Перелік вхідних факторів:

T, Vol, Op – кліматичні умови (дані про середньомісячну температуру, вологість і кількість опадів у регіоні);

Age – середній вік населення або розподіл за віковими категоріями;

G – густина населення (кількість осіб на квадратний кілометр);

PZ – перелік протиепідемічних заходів: карантин, вакцинація, обмеження мобільності;

E – соціально-економічні умови (рівень доходів, доступ до медичних послуг);

V – рівень вакцинації (відсоток населення, що отримало вакцинацію);

Sm – сукупна кількість підтверджених смертей від COVID-19 на мільйон осіб.

Вихідним фактором Z є рівень захворюваності – частка населення, що захворіла за певний період (кількість випадків на мільйон осіб).

В обох випадках використати метод штучних нейронних мереж [12].

Результати розрахунків. Для прогнозування захворюваності необхідні вхідні дані. Оскільки точні дані отримати можливо лише після запиту до Міністерства охорони здоров'я, тож дані були отримані приблизно для прогнозування. Для цього з сайту [10] були взяті приблизні дані по кожній області України протягом всього періоду ковіду. Наприклад, будемо брати статистику по Київській області. Перший фактор прогнозування – це наявність тільки маскового режиму. Наприклад, така ситуація була на період вересень 2020 року. При наявності лише маскового режиму за статистикою зміна відсотку інфікованих дорівнює 42,14, а зміна відсотка тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі, дорівнює 17. Другий та третій фактори – це наявність маскового режиму та введення дистанційного навчання. Наприклад, така ситуація була на період грудень 2020 року. При наявності даних факторів за статистикою зміна відсотка інфікованих дорівнює 38,62, а зміна відсотка тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі, дорівнює 13,8. Третій варіант комбінації факторів – це наявність маскового режиму, дистанційного навчання та можливості вільної вакцинації. Наприклад, така ситуація була на період березень 2021 року. При наявності даних факторів за статистикою зміна відсотка інфікованих дорівнює 24,13, а зміна відсотка тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі, дорівнює 9,3. Четвертий варіант комбінації факторів – це наявність всіх вхідних факторів: маскового режиму, дистанційного навчання та можливості вільної вакцинації, а також запровадження обов'язкової вакцинації. Наприклад, така ситуація була на період грудень 2021 року. При наявності даних факторів за статистикою зміна відсотка інфікованих дорівнює 13,53, а зміна відсотка тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі, дорівнює 5.

За таким алгоритмом було розраховано дані для кожного регіону України, приклад наведено на рис. 1.

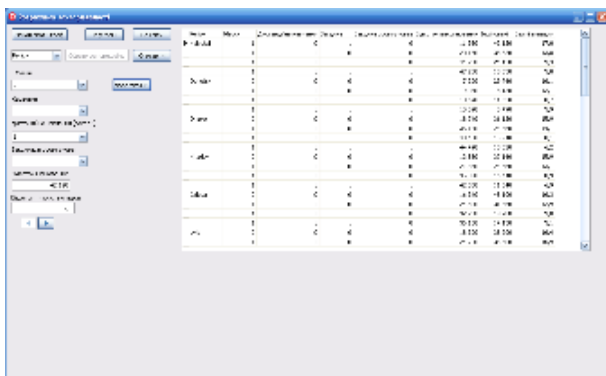
Під час підготовки даних з моделі було вилучено вхідний фактор Q (Quarantine), оскільки наявність карантину у вигляді відсутності масових заходів та наявності антисептиків у всіх закладах майже всюди

мало значення «1». Також перед початком роботи будь-якого алгоритму прогнозування дані останніх трьох стовпців потрібно нормалізувати, тобто привести до діапазону [0..1].

Region1	Masks	Distance	Le	Vaccine_optd	Vaccination	Percentage_o	Infected	Severe_cases
Kyivskyi	1	0	1	0	0	11,98	42,12	17,00
Kyivskyi	1	1	1	0	0	20,15	38,62	13,80
Kyivskyi	1	1	1	1	0	44,22	24,13	9,30
Kyivskyi	1	1	1	1	1	47,28	13,53	5,00
Donetsk	0	0	0	0	0	7,20	29,74	16,10
Donetsk	1	1	0	0	0	9,06	18,12	12,10
Donetsk	1	1	1	1	0	13,67	11,62	8,70
Donetsk	1	1	1	1	1	15,59	5,49	5,90
Dnipro	0	0	0	0	0	18,74	36,12	15,90
Dnipro	1	1	1	0	0	36,12	24,35	14,10

Рис. 1. Підготовлені дані

Наявний додаток було доповнено можливістю обробки даних та представлення статистичної інформації по регіонах та по всій країні або по усьому світу (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Представлення оброблених даних: а – у вигляді таблиці; б – у вигляді мапи

Для проведення розрахунків було використано мову програмування та аналізу даних R [13]. Ця мова призначена для статистичного оброблення даних і роботи з графікою, але це також вільне програмне середовище з відкритим вихідним кодом, що розвивається в рамках проєкту GNU. Наявні бібліотеки дозволяють застосовувати сучасні методи – в тому числі метод штучних нейронних мереж для розв'язання задачі прогнозування.

Кількість нейронів прихованого шару пов'язана з кількістю даних для навчання та необхідною кількістю входів і виходів мережі. Оцінити кількість нейронів у прихованих шарах можна за допомогою формули для оцінки кількості вагових коефіцієнтів, необхідної для освоєння заданої кількості прикладів у навчальній вибірці [12]. У нашому випадку це значення від 1 до 14. Уточнити кількість нейронів у прихованому шарі можна в процесі налаштування нейронної мережі за допомогою конструктивного алгоритму: первинна кількість нейронів спочатку приймається рівною мінімальній кількості, у разі невдалого навчання в прихований шар додається один нейрон. Додавання нейронів триває до тих пір, поки якість роботи нейронної мережі не досягне необхідного значення [12].

Створено скрипт, частина якого представлена у лістингу:

```
w <- read.table(paste(getwd(),
"/Pandemy.txt", sep=""), header=TRUE, sep="t")
w <- w[,1:8]
train_idx <- sample(nrow(w), 0.7 * nrow(w))
w_train <- w.norm[train_idx, ]
w_test <- w.norm[-train_idx, ]
net.w <- neuralnet(I ~ M + D + V + Z + P, w_train,
hidden=c(3,3,3), act.fct="logistic", linear.output=T)
kk <- predict(net.w, w_test)
zz <- data.frame(w_test, res = kk, error)
zz$error <- zz$I - zz$res
cor(zz$I, zz$res)
mean(zz$error)
plot(net.w)
```

Після тривалої роботи цього скрипту для різних параметрів з'ясовано, що найкращий результат (кореляція – 0,9569; середня абсолютна приведена помилка – 0,0502) забезпечує перцептрон, який має два прихованих шари, кожен з п'ятьма нейронами. (рис. 3, рис. 4).

Далі саме цю модель було використано для аналізу того, як фактори впливають на захворюваність. Було проведено низку кількісних експериментів, результати зведено до табл. 1.

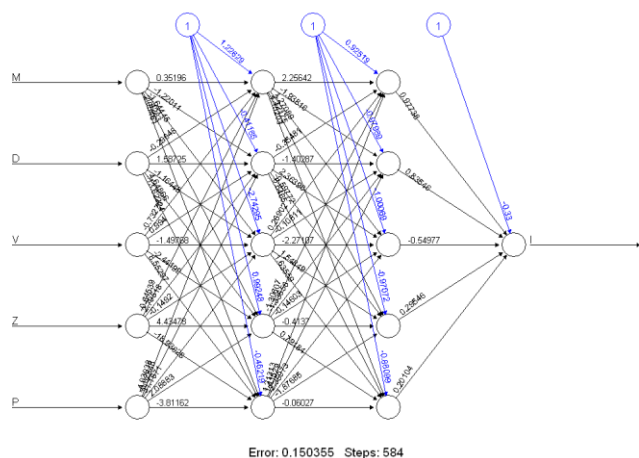


Рис. 3. Граф нейронної мережі

> w2

```

      R M D V Z      P      I      S      res      error
4    kyivskyi 1 1 1 1 47.28 13.53 5.0 13.69 -0.0037170
11   dnipro 1 1 1 0 40.48 15.24 8.1 19.63 -0.1031001
13   kharkiv 0 0 0 0 13.86 37.14 15.9 41.23 -0.0958731
16   kharkiv 1 1 1 1 42.05 11.84 6.9 13.95 -0.0495643
19   odesa 1 1 1 0 32.28 19.78 9.8 21.57 -0.0420305
23   lviv 1 1 1 0 36.23 22.70 11.1 20.48 0.0521543
28   poltava 1 1 1 1 46.34 14.76 5.1 13.73 0.0242580
30   zaporozhye 1 1 0 0 29.80 29.30 15.8 28.42 0.0206866
32   zaporozhye 1 1 1 1 36.32 13.93 7.2 14.44 -0.0120317
34   vinnytsia 1 1 0 0 25.30 27.80 11.1 30.91 -0.0729039
36   vinnytsia 1 1 1 1 38.32 10.21 5.4 14.24 -0.0945886
43   cherkasy 1 1 0 0 39.80 25.60 9.8 19.75 0.1373223
46   mykolaivskyi 1 1 0 0 26.80 29.40 13.1 30.05 -0.0153136
48   mykolaivskyi 1 1 1 1 36.92 14.35 5.8 14.38 -0.0006563
49   sumy 0 0 0 0 18.90 39.90 15.9 39.12 0.0182757
54   zhytomyrskyi 1 1 0 0 24.10 29.50 13.5 31.59 -0.0491420
56   zhytomyrskyi 1 1 1 1 38.35 16.84 5.8 14.24 0.0610733
> cor(w2$I, w2$res)
[1] 0.9569

```

Рис. 4. Результати розрахунків

Таблиця 1 – Результати впливу на відсоток інфікованих вилучення факторів

M	D	V	Z	P	Кореляція	Середня помилка	Відхилення від базової моделі, %
+	+	+	+	+	0,9569	0,0502	–
–	+	+	+	+	0,9584	0,0894	78
+	–	+	+	+	0,9599	0,0895	78
+	+	–	+	+	0,9678	0,0780	55
+	+	+	–	+	0,9526	0,1009	101
+	+	+	+	–	0,9610	0,0921	83
–	–	+	+	+	0,9756	0,0621	24
+	–	–	+	+	0,9545	0,0795	58
+	+	–	–	+	0,9580	0,1232	145
+	+	+	–	–	0,9687	0,1235	146

Можна побачити, що мінімальний вплив на визначення зміни чисельності загально інфікованих має або загальна можливість пройти вакцинацію, або сполучення обов'язкового маскового режиму із запровадженням дистанційного навчання – вочевидь, ці два фактори максимально корелюють один з одним. Максимальний вплив – у запровадження обов'язкової вакцинації.

Далі усі наведені розрахунки повторюємо для розрахунку тих, хто переносить хворобу Covid-19 у тяжкій формі. Після численних запусків цього скрипту для різних параметрів кількості прихованих шарів та кількості нейронів у них з'ясовано, що найкращий результат (кореляція – 0,9875; середня абсолютна помилка – 0,0462) забезпечує перцептрон, який має три прихованих шари, кожен з трьома нейронами (рис. 5, рис. 6).

Далі саме цю модель потрібно використати для дослідження впливу факторів на захворюваність. Було проведено низку кількісних експериментів, результати зведено до табл. 2.

Можна побачити, що мінімальну вагу при розрахунку чисельності тяжких хворих має сполучення тієї ж можливості пройти вакцинацію із запровадженням дистанційного навчання. Максимальна вага – у запровадженні обов'язкової вакцинації.

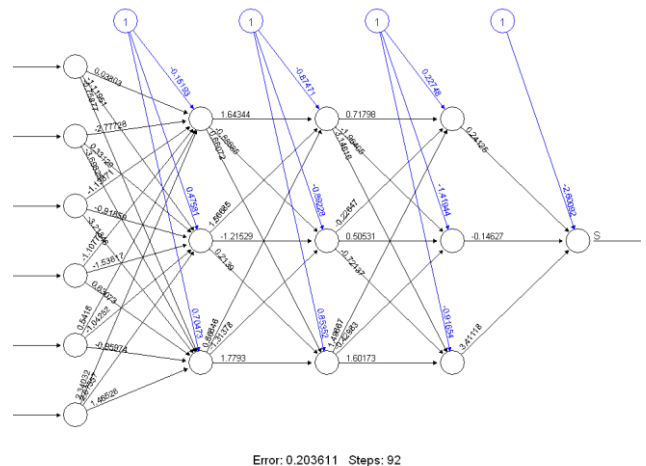


Рис. 5. Граф нейронної мережі

> w2

```

      R M D V Z      P      I      S      res      error
1    kyivskyi 1 0 1 0 11.98 42.12 17.0 14.978 0.167079
4    kyivskyi 1 1 1 1 47.28 13.53 5.0 5.827 -0.068356
9    dnipro 0 0 0 0 18.74 36.12 15.9 16.246 -0.028623
12   dnipro 1 1 1 1 44.49 10.32 6.2 5.739 0.038092
15   kharkiv 1 1 1 0 35.82 16.44 8.9 8.168 0.060470
16   kharkiv 1 1 1 1 42.05 11.84 6.9 5.808 0.090287
17   odesa 0 0 0 0 16.34 48.10 16.3 16.315 -0.001259
21   lviv 0 0 0 0 18.30 38.90 16.4 16.267 0.010978
29   zaporozhye 0 0 0 0 18.40 39.70 16.5 16.272 0.018826
33   vinnytsia 0 0 0 0 13.20 34.10 15.9 16.238 -0.027925
36   vinnytsia 1 1 1 1 38.32 10.21 5.4 5.782 -0.031542
42   cherkasy 1 1 0 0 26.20 30.70 13.3 13.270 0.002515
43   cherkasy 1 1 1 0 39.80 25.60 9.8 9.482 0.026261
50   sumy 1 1 0 0 31.90 28.90 12.1 12.955 -0.070682
52   sumy 1 1 1 1 42.15 18.00 5.1 6.068 -0.080030
53   zhytomyrskyi 0 0 0 0 18.10 33.40 16.8 16.224 0.047619
55   zhytomyrskyi 1 1 1 0 35.35 21.20 9.1 8.925 0.014434
> cor(w2$I, w2$res)
[1] 0.9875
> mean(abs(w2$error))
[1] 0.04618

```

Рис. 6. Результати розрахунків

Таблиця 2 – Результати впливу на відсоток тяжких хворих вилучення факторів

M	D	V	Z	P	I	Кореляція	Середня помилка	Відхилення від базової моделі, %
+	+	+	+	+	+	0,9875	0,0462	–
–	+	+	+	+	+	0,9933	0,0402	–13
+	–	+	+	+	+	0,9915	0,0409	–11
+	+	–	+	+	+	0,9912	0,0473	2
+	+	+	–	+	+	0,9814	0,0546	18
+	+	+	+	–	+	0,9931	0,0381	–18
+	+	+	+	+	–	0,9928	0,0399	–14
–	–	+	+	+	+	0,9879	0,0524	13
+	–	–	+	+	+	0,9897	0,0460	0
+	+	–	–	+	+	0,9875	0,0496	7
+	+	+	–	–	+	0,9811	0,0502	9
+	+	+	+	–	–	0,9889	0,0392	–15

Після численних запусків цього скрипту для різних параметрів кількості прихованих шарів та кількості нейронів у них з'ясовано, що найкращий

результат (середня абсолютна приведена помилка – 0,03684) забезпечує персептрон, який має два прихованих шари, кожен з п'ятьма нейронами. (рис. 7, рис. 8).

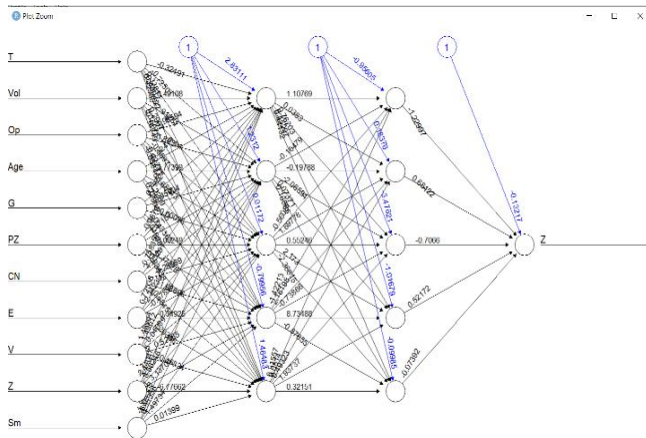


Рис. 7. Граф нейронної мережі

> w2	T	Vol	Op	Age	G	PZ	CN	E	V	Z	Sm
4	21.8	82	0.34884	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.0149758	7.009e-08	0.000e+00
6	24.7	78	0.16279	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.0935990	2.846e-03	1.142e-02
7	24.4	77	0.11628	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.1316425	1.755e-02	4.765e-02
9	24.8	80	0.25581	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.2458937	9.166e-02	1.530e-01
11	23.7	83	0.48837	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.5417874	1.615e-01	2.313e-01
12	23.8	84	0.53488	32.68	25.26	0.5	0.55780	1.0	0.6719807	1.851e-01	2.604e-01
14	26.5	84	0.53488	33.10	25.07	0.5	0.56076	1.0	0.8253623	2.572e-01	3.186e-01
20	23.2	80	0.16279	33.16	25.07	1.0	0.56076	1.0	0.9716184	6.246e-01	8.484e-01
23	26.4	84	0.48837	33.19	25.07	1.0	0.56076	1.0	0.9891304	7.126e-01	9.716e-01
26	3.2	88	0.18605	44.88	239.93	1.0	0.14170	0.5	0.0000000	0.000e+00	0.000e+00
27	2.0	90	0.25581	44.88	239.93	1.0	0.14170	0.5	0.0000000	0.000e+00	0.000e+00
31	14.5	73	0.00000	44.88	239.93	1.0	0.14170	0.5	0.0981884	1.369e-02	8.314e-03
32	18.0	76	0.04651	44.88	239.93	1.0	0.14170	0.5	0.2434783	1.518e-02	3.471e-02
35	16.0	80	0.16279	44.88	239.93	1.0	0.14170	0.5	0.7321256	2.030e-02	3.833e-02
38	3.5	89	0.23256	44.92	240.12	1.0	0.14193	0.5	0.8228261	8.855e-02	5.410e-02
42	9.0	79	0.06047	44.92	240.12	1.0	0.14193	0.5	0.9067633	2.412e-01	3.150e-01
44	17.8	78	0.06977	44.92	240.12	1.0	0.14193	0.5	0.9097826	3.066e-01	3.665e-01
49	6.8	87	0.18605	44.92	240.12	1.0	0.14193	0.5	0.9124396	3.848e-01	3.898e-01
50	3.4	88	0.20930	45.02	241.24	1.0	0.14323	0.5	0.9126812	5.179e-01	4.433e-01
52	2.8	63	0.06977	47.67	335.18	0.5	0.28373	0.0	0.0000000	0.000e+00	0.000e+00
54	3.2	63	0.09302	47.67	335.18	1.0	0.28373	0.0	0.0000000	1.592e-05	1.367e-05
55	7.5	66	0.20930	47.67	335.18	1.0	0.28373	0.0	0.0018116	1.834e-04	1.559e-04

Рис. 8. Результати розрахунків

Висновки. Розроблена модель дозволяє проводити оцінювання ефективності протиепідемічних заходів під час епідемій та здійснювати здійснення прогнозування зміни відсотка інфікованих і тих, хто переносить хворобу у тяжкій формі.

У ході дослідження було встановлено, що рівень захворюваності значною мірою залежить від таких факторів, як густота населення, рівень вакцинації та соціально-економічні умови. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення стратегій протиепідемічних заходів та покращення управлінських рішень у сфері охорони здоров'я. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення набору факторів та удосконалення методів моделювання.

Список використаної літератури

- Огнева В. А. *Соціальна медицина, громадське здоров'я. навч. посіб. у 4 томах. Т. 2. Громадське здоров'я*. Харків: ХНМУ, 2023. 324 с.
- Котлик С. В., Романюк О. Н., Соколова О. П., Ключніков М. М. Розробка WEB-додатку для лабораторії COVID-19. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2022. V. 14, No. 1. С. 39–46. DOI: doi.org/10.15673/atbp.v14i1.2280
- Мельников О. Ю., Козуб Д. С. Застосування нейронних мереж для оцінювання ефективності протиепідемічних заходів та прогнозування зміни відсотка інфікованих та перенесених

хвороб у тяжкій формі. *Нейромережні технології та їх застосування НМТiЗ-2022: збірник наукових праць XXI Міжнародної наукової конференції «Нейромережні технології та їх застосування НМТiЗ-2022»* [за заг. ред. д-ра техн. наук., проф. С. В. Ковалевського і Hon.D.Sc., prof. Dasic Predrag]. Краматорськ: ДДМА, 2022. С. 56–61.

- Козуб Д. С., Мельников О. Ю. Створення математичної моделі для оцінювання ефективності протиепідемічних заходів. *Математика та математичне моделювання у сучасному технічному університеті: Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, 30 квітня 2024 р.* Луцьк: ДонНТУ, 2024. С. 62–64.
- WHO COVID-19 dashboard. URL: <https://covid19.who.int/> (дата звернення: 21.04.2025).
- Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/> (дата звернення: 21.04.2025).
- Eurosurveillance. URL: <https://www.eurosurveillance.org/> (дата звернення: 21.04.2025).
- COVID Data Tracker. URL: <https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker/> (дата звернення: 21.04.2025).
- COVID-19 Pandemic – Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/coronavirus> (дата звернення: 21.04.2025).
- Коронавірус в Україні – Статистика – Карта заражень, графіки. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/coronavirus/ukraine> (дата звернення: 21.04.2025).
- Козуб Д. С., Мельников О. Ю. Постановка задачі дослідження впливу різних факторів на рівень захворюваності під час пандемії. *Розвиток науки – простір для відновлення регіону: збірник тез наукової конференції молодих вчених 19 грудня 2024 р.* Краматорськ: Донецька обласна державна адміністрація, Рада молодих вчених при Донецькій облдержадміністрації, 2024. С. 86–88.
- Гітис В. Б. *Нейромережні технології: навчальний посібник*. Краматорськ: ДДМА, 2021. 248 с.
- Мельников О. Ю. *R – мова програмування та аналізу даних: навчальний посібник для здобувачів вищої освіти за спеціальностями «Системний аналіз» та «Інформаційні системи та технології»*. Краматорськ: ДДМА, 2023. 272 с.

References (transliterated)

- Ognyeva V. A. *Social medicine, public health. teaching. manual. in 4 volumes. T. 2. Public health* [Social'na medy'cy'na, gromads'ke zdorov'ya. navch. posib. u 4 tomax. T. 2. Gromads'ke zdorov'ya]. Kharkiv, KhNMU Publ., 2023. 324 p. (In Ukr.).
- Kotlyk S. V., Romanyuk O. N., Sokolova O. P., Klyushnikov M. M. Development of a WEB application for the COVID-19 laboratory [Rozrobka WEB-dodatku dlya laboratorii COVID-19]. *Automation of technological and business processes* [Avtomatyzaciya texnologichny'x i biznes-procesiv]. 2022, v. 14, no. 1, pp. 39–46. DOI: doi.org/10.15673/atbp.v14i1.2280 (In Ukr.).
- Melnykov O. Yu., Kozub D. C. Application of neural networks to assess the effectiveness of anti-epidemic measures and predict changes in the percentage of infected and severely ill people [Zastosuvannya nejronny'x merezh dlya ocinyuvannya efekty'vnosti proty'epidemichny'x zaxodiv ta prognosuvannya zminy' vidsetka infikovany'x ta pereneseny'x xvorob u tyazhkiy formi]. *Neural Network Technologies and Their Applications NMTiZ-2022: Collection of Scientific Papers of the XXI International Scientific Conference "Neural Network Technologies and Their Applications NMTiZ-2022"* [ed. by Dr. Tech. Sci., Prof. S. V. Kovalevsky and Hon.D.Sc., prof. Dasic Predrag] [Nejromerezni tehnologiyi ta yix zastosuvannya NMTiZ-2022: zbirny'k naukovy'x prac' XXI Mizhnarodnoyi naukovoï konferenciyi «Nejromerezni tehnologiyi ta yix zastosuvannya NMTiZ-2022»] [za zag. red. d-ra techn. nauk., prof. S. V. Kovalev's'kogo i Hon.D.Sc., prof. Dasic Predrag]]. Kramatorsk, DSEA Publ., 2022, pp. 56–61. (In Ukr.).
- Kozub D. C., Melnykov O. Yu. Creation of a mathematical model for assessing the effectiveness of anti-epidemic measures [Stvorennaya matematy'chnoyi modeli dlya ocinyuvannya efekty'vnosti proty'epidemichny'x zaxodiv]. *Mathematics and Mathematical Modeling in a Modern Technical University: Collection of Abstracts of the Second International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists, April 30, 2024.* [Matematy'ka ta

- matematychno modelyuvannya u suchasnomu texnichnomu universiteti: Zbirnyk tez dopovidej II Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi studentiv ta molodyx vchenykh, 30 kvitnya 2024 r.]. Lutsk, DonNTU Publ., 2024, pp. 62–64. (In Ukr.).
5. WHO COVID-19 dashboard. Available at: <https://covid19.who.int/> (accessed 21.04.2025).
 6. Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. Available at: <https://coronavirus.jhu.edu/> (accessed: 21.04.2025).
 7. Eurosurveillance. Available at: <https://www.eurosurveillance.org/> (accessed 21.04.2025).
 8. COVID Data Tracker. Available at: <https://covid.cdc.gov/covid-data-tracker/> (accessed 21.04.2025).
 9. COVID-19 Pandemic – Our World in Data. Available at: <https://ourworldindata.org/coronavirus> (accessed 21.04.2025).
 10. Coronavirus in Ukraine – Statistics – Infection map, graphs [Koronavirus v Ukraini – Staty'styka – Karta zarazhen', grafiky']. Available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/coronavirus/ukraine> (accessed 21.04.2025). (In Ukr.).
 11. Kozub D. C., Melnykov O. Yu. Setting the task of studying the influence of various factors on the level of morbidity during a pandemic [Postanovka zadachi doslidzhennya vplyvu riznykh faktoriv na riven' zaxvoryuvanist' pid chas pandemiyi]. *The development of science is a space for the restoration of the region: collection of abstracts of the scientific conference of young scientists on December 19, 2024* [Rozvytok nauky – prostir dlya vidnovlennya regionu: zbirnyk tez naukovoyi konferenciyi molodyx vchenykh 19 grudnya 2024 r.]. Kramatorsk: Donetsk Regional State Administration, Council of Young Scientists under the Donetsk Regional State Administration Publ., 2024, pp. 86–88.
 12. Gitis V. B. *Nejromerezhni texnologiyi: navchalnyj posibnyk* [Neural network technologies: a tutorial]. Kramatorsk, DSEA Publ., 2021. 248 p. (In Ukr.).
 13. Melnykov O. Yu. R – mova programuvannya ta analizu danyx: navchalnyj posibnyk dlya zdobuvachiv vyshchoyi osvity za specialnostyamy «Systemnyj analiz» ta «Informacijni systemy ta texnologiyi» [R – the language of programming and data analysis: a tutorial for students of higher education majoring in "System Analysis" and "Information Systems and Technologies"]. Kramatorsk, DSEA Publ., 2023. 272 p. (In Ukr.).

Надійшло (received) 28.04.2025

UDC 004.42:519.8

O. Yu. MELNYKOV, Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Donbas State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Intelligent Decision Making Systems; Kramatorsk, Ukraine; e-mail: alexandr@melnikov.in.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2701-8051>

D. S. KOZUB, Donbas State Engineering Academy, Student, Kramatorsk, Ukraine, e mail: dima.kozub13@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2522-5241>

RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE LEVEL OF MORBIDITY DURING A PANDEMIC USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND THE R PROGRAMMING AND DATA ANALYSIS LANGUAGE

The problem of analyzing the impact of various factors on the level of morbidity during a pandemic is considered. The task of calculating the effectiveness of anti-epidemic measures and changing the percentage of general patients in general and those who suffered the disease in a severe form is formulated. The input factors of the predictive model are considered to be the "mask regime", quarantine, distance learning, the possibility of vaccination, the availability of mandatory vaccination, and the percentage of vaccinated people. The output factors are the percentage of total infected and the percentage of those who developed complications after the disease (in the latter case, the percentage of total infected is added to the input factors). The task of calculating the impact of various factors on the level of population morbidity was also formulated using the example of COVID-19 statistics in a number of countries (Brazil, Germany, Japan, Ukraine, and the USA). An analysis of the main input factors was conducted, such as climatic conditions, population density, population age, vaccination level, socio-economic conditions, population size, and measures to counter the pandemic. Data sets based on real indicators were created. The artificial neural network method was used to solve both problems. A script was developed in the R programming and data analysis language. Calculations show that to achieve the best result in predicting the number of total infected, it is necessary to use a perceptron, which has two hidden layers, each of which consists of five neurons. To achieve the best result in predicting the number of seriously ill patients, it is necessary to apply a perceptron, which has three hidden layers, each of which consists of three neurons. In both variants, a sigmoidal activation function is recommended. The first model was used to analyze the level of influence of the listed factors on the level of morbidity. It was found that the minimum impact on determining the change in the number of generally infected people is either the general opportunity to be vaccinated or the combination of a mandatory mask regime with the introduction of distance learning. The minimum weight when calculating the number of seriously ill patients is the combination of the same opportunity to be vaccinated with the introduction of distance learning. In both cases, the maximum impact is the introduction of mandatory vaccination. During the study of the impact of indicators in different countries, it was found that the level of morbidity depends to a large extent on factors such as population density, vaccination level and socio-economic conditions. The results obtained can be used to improve strategies for anti-epidemic measures and improve management decisions in the field of health care.

Keywords: factors, statistics, incidence rate, COVID-19, forecasting, artificial neural networks, R language.

Повні імена авторів / Author's full names

Автор 1 / Author 1: Мельников Олександр Юрійович, Melnykov Oleksandr Yuriyovich

Автор 2 / Author 2: Козуб Дмитро Сергійович, Kozub Dmytro Serhiiovych