

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.2.205127

УДК 004.896+681.518

О.М. Павлюк\*, Н.К. Лиса, О.Ю. Федевич, О-А.А. Стронціцька

НУ “Львівська політехніка”, Львів, Україна

\*corresponding author: Olena.M.Pavliuk@lpnu.u

### ПРОГНОЗ КІЛЬКОСТІ ХВОРИХ НА COVID-19 В УКРАЇНІ

**Проблематика.** Однією з найактуальніших проблем у світі є пандемія COVID-19. Від її поширення і тривалості залежить, чи будуть продовжувати послаблювати карантинні обмеження, які впливають на економічну та соціальну ситуацію в світі загалом та в Україні зокрема.

**Мета дослідження.** На основі аналізу літературних джерел і власних проведених досліджень здійснити прогноз кількості хворих на COVID-19 в Україні та розробити рекомендації щодо доцільності введення наступних етапів послаблення карантину.

**Методика реалізації.** Виявлення кореляційної залежності між кількістю хворих на коронавірус в Україні та інших країнах. Побудова трендів для здійснення довго- та середньострокового прогнозів кількості хворих на COVID-19 в Україні. Застосування неїтераційних штучних нейронних мереж (ШНМ) на основі радіально-базисних функцій (РБФ) із додатковими латеральними зв'язками між нейронами прихованого прошарку для здійснення короткострокового прогнозу кількості хворих на коронавірус.

**Результати дослідження.** Виявлено кореляційну залежність між кількістю хворих на коронавірус в Україні, Італії та Іспанії. Побудовано тренд за допомогою поліномів із 2 до 6-го степеня для довгострокового прогнозу кількості хворих на COVID-19 в Україні і здійснено довгострокові прогнози. Для середньострокового прогнозу використано подібність траєкторій України з траєкторіями Польщі та Швеції. Встановлено, що Україна все більше відхиляється від траєкторії Польщі і наближається до траєкторії Швеції із запізненням у 2-3 дні. Застосовано РБФ ШНМ із додатковими латеральними зв'язками між нейронами прихованого прошарку для короткострокового прогнозу кількості хворих на COVID-19 в Україні. Середньоквадратична зведена до діапазону значень похибка навчання ШНМ для прогнозу на 14 днів становить 0,55 %, максимальна – 1,43 %.

**Висновки.** На основі здійснених прогнозів показано вплив першого етапу послаблення карантину та показано, як вплине на захворювання другий етап послаблення карантинних обмежень.

**Ключові слова:** кількість хворих; COVID-19; пандемія; вірус SARS-CoV-2; карантин; короткостроковий прогноз; середньостроковий прогноз; довгостроковий прогноз; неїтераційні штучні нейронні мережі; радіально-базисна функція.

#### Вступ

Однією з найбільших бід, яка сколихнула весь світ на початку 2020 року, стала пандемія коронавірусу COVID-19. Найбільш імовірно, що вірус SARS-CoV-2 виник у Китаї в місті Ухань, на ринку, де продавали живих тварин і морепродукти. Його зазвичай переносять тварини, але внаслідок мутації вірус почав передаватися від людини до людини. Існують й інші версії виникнення цього вірусу, але жодна з них достеменно не підтверджена. Беззаперечним фактом є те, що сьогодні від пандемії коронавірусу потерпає весь світ. Станом на 3 квітня 2020 р. вона охопила більшу частину земної кулі. Саме цього дня кількість заражених людей у світі перевищила 1 млн осіб. Причому позначку в 100 000 хворих було досягнуто за 55 днів, а 500 000 – за 76 днів. Кількість летальних випадків на 09:00 год становила 52 771, а тих, хто одужав, – 210 186. Найбільша кількість заражених

zareestrovana в США, на другому місці Італія, на третьому – Іспанія.

Далі кількість хворих на коронавірус у світі почала стрімко зростати. Зранку 14 квітня 2020 р. їх кількість становила майже 2 млн і трійкою лідерів були: США, Іспанія, Італія. Кількість інфікованих коронавірусом SARS-CoV-2 у всьому світі ввечері 27 квітня перевищила 3 млн із цими ж трьома країнами з найбільшою кількістю хворих. 9 травня 2020 р. кількість хворих у світі перевищила 4 млн з цією ж трійкою країн-лідерів. 3 12 травня перші три місця посідали: США, Іспанія і Росія, яка випередила Італію. 21 травня світ перетнув позначку в 5 млн хворих із найбільшою кількістю смертей у: США, Великобританії, Італії, Франції, Іспанії, Бразилії.

29 лютого в Україні у Чернівцях в інфекційне відділення обласної лікарні госпіталізували чоловіка, який із 21 до 26 лютого подорожував Італією. У пацієнта з 28 лютого з'явилися

клінічні ознаки грипу, і ввечері 2 березня за допомогою тестування було підтверджено коронавірус. 3 березня цей випадок офіційно зареєстрували як перший підтверджений на території України. Приблизно через місяць картина зараження коронавірусом дуже змінилася. Станом на 3 квітня 2020 р. офіційно зареєстровано 942 випадки зараження COVID-19, з них 23 пацієнти померли і 19 одужали. Ці дані засвідчують стрімке поширення коронавірусу Україною. Єдина область, що залишалася в Україні незараженою найдовше, – Миколаївська. Найбільше заражених в Україні виявлено у Київській, Чернівецькій і Тернопільських областях. У наступних за кількістю заражених областях України таких осіб удвічі менше. Проте 10 квітня в Миколаївській області було виявлено одразу двох хворих на коронавірус. Далі коронавірус стрімко поширився всією територією України, в деяких містах спостерігався його величезний спалах, як, наприклад, у Чернівцях, Києві, Івано-Франківську, Тернополі тощо.

Учені цілого світу працюють над вирішенням таких питань:

- Коли закінчиться пандемія у світі загалом та у їхній країні зокрема?
- Коли кількість заражених у світі та у їхній країні почне зменшуватися?
- Чи буде пандемія мати циклічний характер?
- Чи вдасться винайти вакцину проти вірусу SARS-CoV-2?
- Чи взагалі вдасться повністю знищити вірус SARS-CoV-2?

### Постановка задачі

Розробити власні методи прогнозу кількості хворих на COVID-19 в Україні на основі аналізу існуючих методів та із застосуванням нейтральних штучних нейронних мереж. На основі отриманих прогнозів дати рекомендації щодо строків і доцільності проведення наступних етапів послаблення карантинних обмежень.

### Аналіз літературних джерел

Головними методами, покладеними в основу побудови прогнозних моделей і розрахунків поширення вірусу SARS-CoV-2 в Україні, стали:

- інтелектуальний аналіз даних (Data Mining);

- принцип подібності в математичному моделюванні (Principle of Similarity in Mathematical Modeling);

- кореляційний аналіз (Correlation Analysis);

- регресійний аналіз (Regression Analysis).

Науковці з Оксфорда вважають, що в Україні станом на 31 березня 2020 р. мало бути 12 986 хворих на коронавірус, тобто близько 13 тис., а насправді було зареєстровано 618 випадків. Ці розрахунки були проведені на основі моделі “susceptibility-infected-recovered” (SIR) відповідно до статистичних даних по випадках захворюваності й смертності у Великобританії та Італії. SIR включає поділ населення на три групи:  $S$  – кількість осіб, сприйнятливих до захворювання,  $I$  – кількість інфікованих осіб,  $R$  – кількість осіб, які одужали та мають імунітет. Вона не є складною при розв’язанні й водночас дає змогу будувати криву поширення багатьох інфекційних захворювань, у т.ч.: кору, ендемічного паротиту та краснухи. Ця модель була використана для COVID-19. Результати SIR для України [1] зображені на рис. 1.

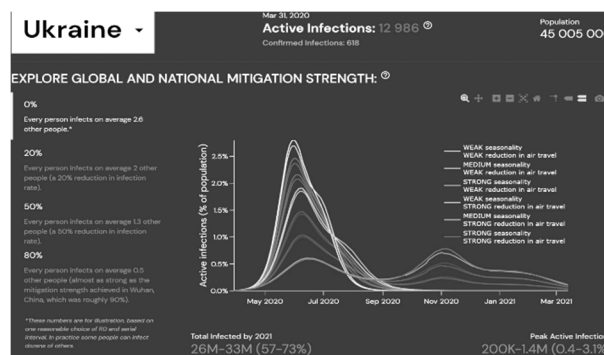


Рис. 1. Результати прогнозу кількості хворих на COVID-19 за допомогою SIR-моделі для України [1]

Аналітики Світового центру даних “Геоінформатика і сталий розвиток” розробили 2 сценарії поширення пандемії коронавірусу і вважають, що найреалістичнішим з імовірністю до 60 % буде сценарій, середній між песимістичним та оптимістичним. При цьому, на їхній погляд, виходячи з міркувань, що “краще помилитися в гіршому”, цей сценарій міг би стати базовим при плануванні подальших дій влади всіх рівнів. А ще вони зауважують, що дослідження триватиме й надалі, а його результати періодично оприлюднюватимуться. Варто зазначити, що вчені моделювали ситуацію з коронавірусом в

Таблиця 1. Кореляційна матриця випадків захворювання на COVID-19 [2]

	China	France	Italy	Korea, South	Spain	Sweden	Ukraine	US
China	1,000	0,923	0,706	0,755	0,578	0,525	0,823	0,882
France	0,923	1,000	0,504	0,703	0,408	0,361	0,625	0,913
Italy	0,706	0,504	1,000	0,767	0,957	0,934	<b>0,975</b>	0,458
Korea, South	0,755	0,703	0,767	1,000	0,831	0,775	0,777	0,687
Spain	0,578	0,408	0,957	0,831	1,000	0,980	<b>0,891</b>	0,375
Sweden	0,525	0,361	0,934	0,775	0,980	1,000	0,854	0,328
Ukraine	0,823	0,625	0,975	0,777	0,891	0,854	1,000	0,566
US	0,882	0,913	0,458	0,687	0,375	0,328	0,566	1,000

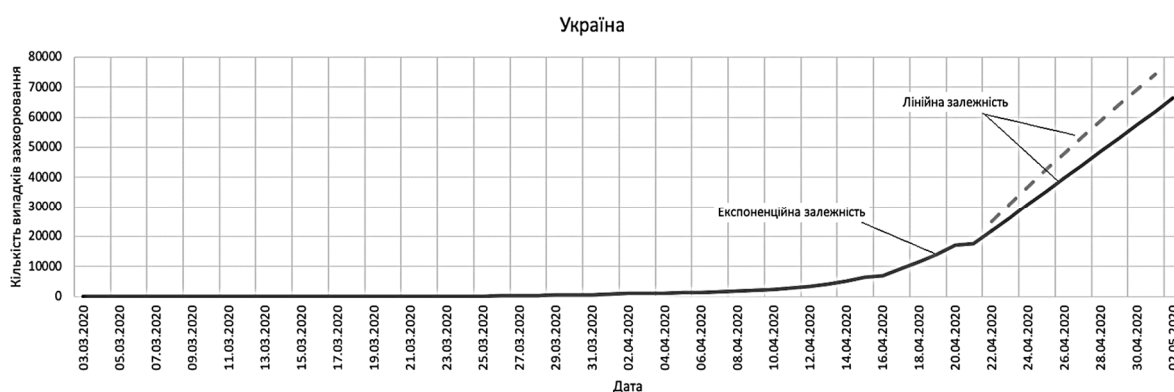


Рис. 2. Прогноз кількості захворювань на COVID-19 в Україні [2]

Україні, беручи до уваги те, що в країні проживає 45 млн осіб. Але станом на 1 лютого 2020 р. в Україні офіційно проживає 41 млн. осіб.

Із застосуванням принципу подібності з використанням статистичних даних Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering щодо випадків захворювання на COVID-19 для групи країн світу з найбільш характерними проявами пандемії було визначено країни, в яких поширення вірусу мало найбільш подібний до України характер [2]. Результати наведені в табл. 1.

Першим днем спостережень для кожної країни було встановлено дату реєстрації першого офіційного випадку захворювання для дотримання умови однорідності вибірок даних. У результаті проведеного для цих даних кореляційного аналізу встановлено, що значення коефіцієнтів кореляції найвищі між Україною, Італією та Іспанією. Для цього розраховували відношення кількості летальних випадків до загальної кількості випадків захворювання за кожен день пандемії в цих країнах.

Використовуючи принцип подібності в математичному моделюванні з відповідним лагом, що дорівнює 30-ти дням, провели розрахунок цього показника для України. За результатами було встановлено, що характер поширення COVID-19 в Україні найбільш наближений до Італії та Іспанії. Проте в цих країнах масштаби поширення більші.

Аналіз даних показує, що в Італії на 32 дні, а в Іспанії – на 31 день раніше, ніж в Україні, було зареєстровано перший випадок зараження COVID-19 [2]. Для прогнозу кількості випадків COVID-19 в Україні за країни-прототиби вибрано Італію та Іспанію, але із затримкою приблизно на 30 днів (рис. 2).

Ймовірні терміни завершення пандемії для 87 країн змодельовала група вчених із Сингапурського університету Data-Driven Development Lab. Згідно з даними станом на 27 квітня, захворюваність в Україні піде на спад, а саме до 17 травня мають видужати 97 % інфікованих, до 26 травня – 99 %, а всі 100 % – до 2 липня, але

дані оновлюються щоденно [3]. Під час прогнозування створена SIR-модель враховує дані про інфікованих та видужалих в окремих часових проміжках та інтенсивність контактів між людьми. Графік прогнозу завершення епідемії коронавірусу в Україні згідно з дослідженнями Data-Driven Development Lab [3] зображено на рис. 3.

Найбільш потужних результатів у прогнозуванні поширенні пандемії коронавірусу досягла робоча група з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією коронавірусу SARS-CoV-2 в Україні, створена Розпоряджен-

ням Президії НАН України від 3 квітня 2020 р. № 118. Нею була створена математична модель SEIR-U, яка працювала на основі статистичних даних про динаміку епідемії в Україні та країнах Європи [4]. Графіки будувалися, починаючи від 100-го хворого у кожній із досліджуваних країн (Чехія, Польща, Швеція і Україна) (рис. 4).

На основі проведених досліджень було встановлено, що епідемія в Україні рухається близько до траєкторії Швеції та Польщі з деяким запізненням, причому все більше наближається до Швеції.

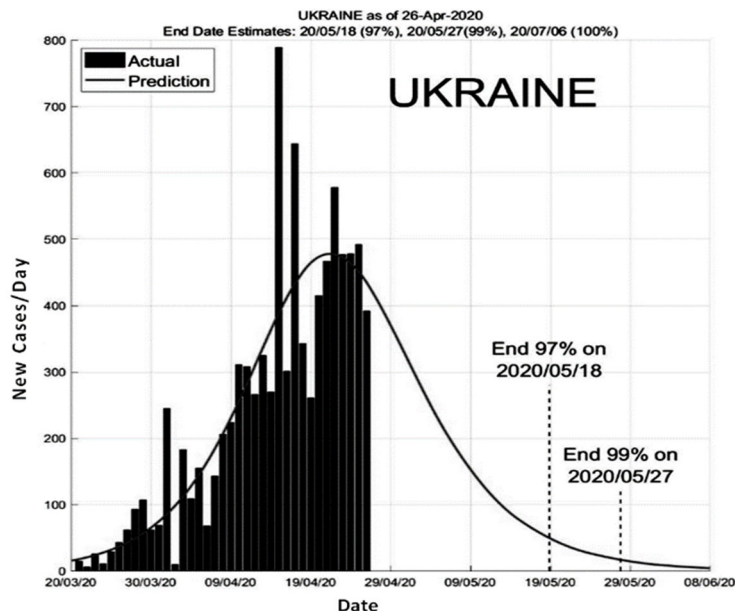


Рис. 3. Прогнози завершення епідемії коронавірусу в Україні [3]

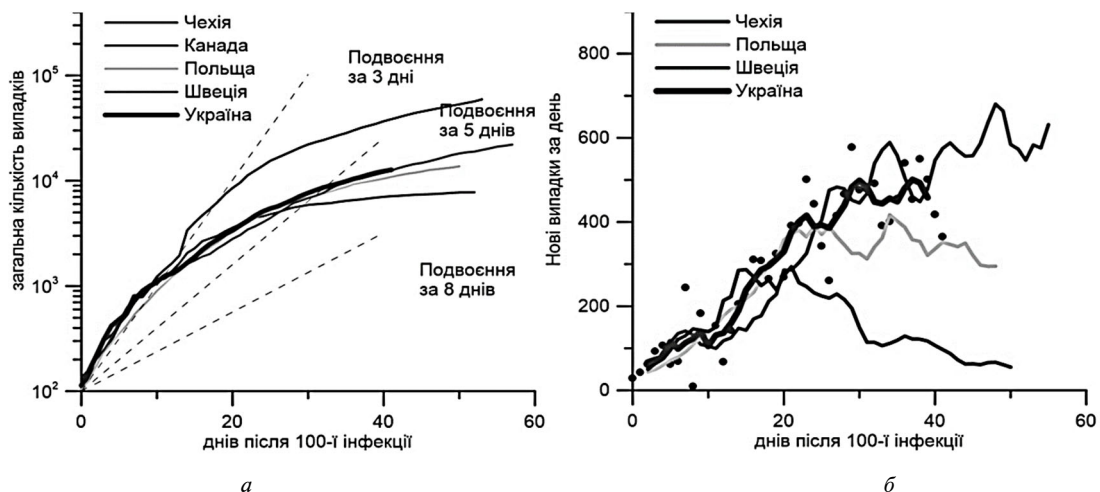


Рис. 4. Сумарна кількість виявлених випадків захворювання (а) та кількість захворювань, виявлених за день (б) [4]

### Результати дослідження

Аналіз наведених вище досліджень встановив кореляційну залежність між хворими на COVID-19 в Україні, Італії та Іспанії, але з різними масштабами поширення та зсувом у початкових датах виявлення першого хворого (рис. 5, а). Щоб підвищити точність, всі статистичні дані для цих трьох країн, починаючи від першого виявленого захворювання, нормувалися в діапазоні від 0 до 1 (рис. 5, б).

Як видно після зведення даних до діапазону від 0 до 1, Україна після значення 0,5 по осі ординат з Іспанією мають спільний тренд із різницею піка захворювання у 15 днів. Італія випереджає Україну за максимальною кількістю хворих на 25 днів. Сумістимо графіки захворювань таким чином, щоб піки захворювань збіглися (рис. 6).

За точку відліку беремо, коли Україна досягла максимуму захворювання 23.04.2020 р. –

578, що захворіли за добу, та 7170 загалом, тобто це є 51-й день від першого зафіксованого захворювання. Якщо Україна піде за більш оптимістичним сценарієм захворювання, таким як в Іспанії, то довгостроковий прогноз кількості хворих у 200 чоловік за добу буде досягнуто на 104-й день захворювань, тобто починаючи з 15.06.2020 р. Якщо ж Україна піде песимістичнішим шляхом, як Італія, то 200 хворих буде ближче до кінця червня. За яким сценарієм піде Україна, залежить від дотримання правил карантину. З 11.05.2020 р. відбулося перше послаблення карантину, яке привело до спалаху, тому більш імовірним буде розгортання в Україні італійського сценарію.

Побудуємо тренди за допомогою степеневих функцій, а саме поліномів із 2 до 6-го степеня за даними зростання кількості хворих на COVID-19 і зведенням до діапазону від 0 до 1. На їх основі обчислимо величину достовірності

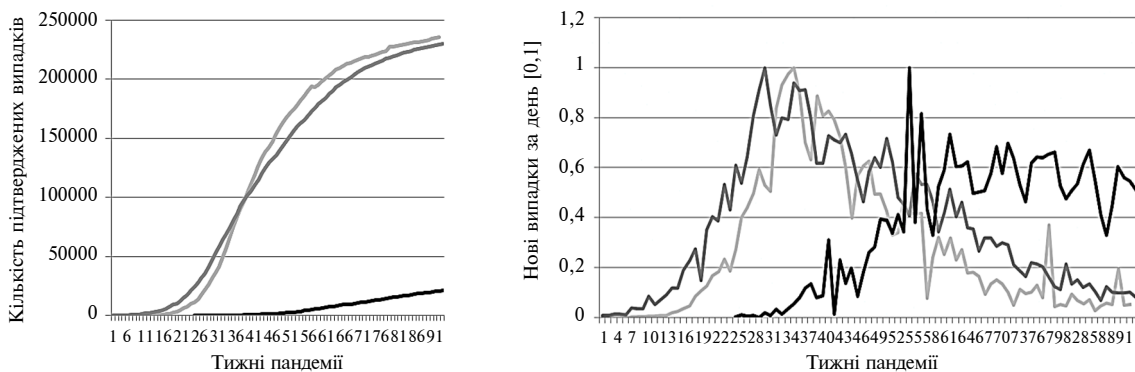


Рис. 5. Кількість хворих на COVID-19 в Україні, Італії та Іспанії: а – дійсні значення; б – зведені до діапазону від 0 до 1: — — Іспанія; — — Італія; — — Україна

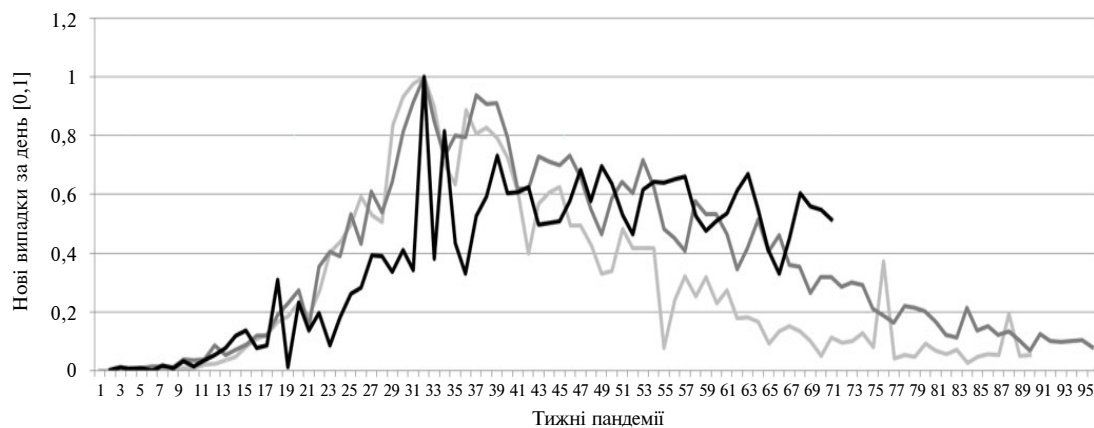


Рис. 6. Суміщені графіки захворювання на COVID-19 для України, Італії та Іспанії: — — Іспанія; — — Італія; — — Україна

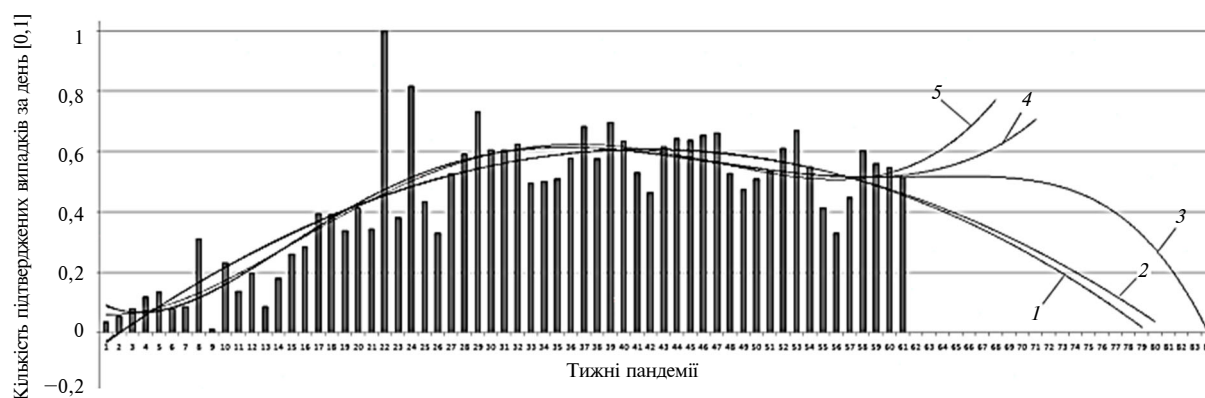


Рис. 7. Тренди для кількості захворювань, виявлених за день, що зведені до діапазону від 0 до 1 і побудовані поліномами: 1 – третього; 2 – другого; 3 – п'ятого; 4 – шостого; 5 – четвертого степеня

Таблиця 2. Тренди, побудовані за кількістю щоденних виявлених захворювань на COVID-19

Функція	RI	n періодів уперед	300 хворих щодня з	200 хворих щодня з	100 хворих щодня з	50 хворих щодня з
$y = -0,000x^2 + 0,032x - 0,065$	0,698	19	30 травня 2020 р.	05 червня 2020 р.	10 червня 2020 р.	15 червня 2020 р.
$y = -6E-07x^3 - 0,000x^2 + 0,030x - 0,058$	0,698	18	29 травня 2020 р.	04 червня 2020 р.	09 червня 2020 р.	13 червня 2020 р.
$y = 5E-07x^4 - 7E-05x^3 + 0,002x^2 - 0,005x + 0,064$	0,723	7	Не досягне протягом місяця, бо функція відображає спалах поширення коронавірусу			
$y = -1E-08x^5 + 2E-06x^4 - 0,000x^3 + 0,004x^2 - 0,025x + 0,108$	0,726	23	10 червня 2020 р.	14 червня 2020 р.	16 червня 2020 р.	18 червня 2020 р.
$y = 1E-10x^6 - 4E-08x^5 + 4E-06x^4 - 0,000x^3 + 0,005x^2 - 0,031x + 0,119$	0,726	10	Не досягне протягом місяця, бо функція відображає спалах поширення коронавірусу			

апроксимації RI. Дані брали, починаючи після першої сотні виявлених хворих (рис. 7).

Побудуємо тренд за кількістю захворювань, виявлених за день, яка наблизиться до 50-ти людей. Результати наведені в табл. 2.

Згідно з побудованими трендами кількості хворих за день можна зробити висновки щодо довгострокового прогнозу, оскільки пандемія може піти кількома трендами. З огляду на дотримання карантинних обмежень і на послаблення карантину буде встановлено, яким трендом поширюватиметься пандемія. 11 травня відбулося перше послаблення карантинних обмежень, згідно з яким: дозволена робота перукарень і салонів краси, стоматологій, відвідування парків, скверів, зон відпочинку, лісопаркових і прибережних зон, дитячих і спортивних майданчиків тощо. Однозначно збільшиться кількість

контактів людей. Якщо українці масово почнуть не дотримуватися умов, передбачених першим етапом послаблення карантину, то пандемія почне поширюватися згідно з трендами під номерами 4 і 5, тобто відбудеться її спалах. Якщо ж українці будуть дотримуватися всіх карантинних обмежень із незначними порушеннями, то пандемія піде за трендом під номером 3 і вже в 20-х числах червня щоденна кількість захворілих буде менше 50 чоловік. Якщо мешканці будуть строго дотримуватися всіх карантинних обмежень, то пандемія піде за трендами 1 або 2 і вже з середини червня кількість захворілих за день буде близько 50 чоловік. Але оскільки вже 11 травня були перші карантинні послаблення і 29 травня планується другий етап послаблення карантину, то поширення пандемії за трендом під номером 1 є неможливим. Із 22 травня

водять 2-й етап послаблення карантину, але 8 областей до нього не готові, тому в них запровадили адаптивний карантин. Кожен етап послаблення карантину викликає у людей певне полегшення й інколи спонукає до нехтування правилами безпеки. Тому після кожного послаблення карантинних обмежень неминучий є локальний ріст захворювання на COVID-19, а отже, відтягування періоду закінчення пандемії. Але тотальне обмеження призведе до погіршення економіки країни. Тому необхідно шукати “золоту середину” між тривалістю строгого карантину, його послабленням та наслідками від цього.

Для середньострокового прогнозу кількості захворювань, виявлених за день, проведемо порівняння з країнами, які мають найбільш подібні траєкторії, а саме з Польщею та Швецією [3] (рис. 8).

З графіків на рис. 8 можна зробити висновок, що за останні тижні траєкторія України відхилилася від траєкторії Польщі і наблизилася до траєкторії Швеції. Всі три країни мають дуже тривалий період плато, і у всіх них він наближається до завершення. У Польщі унаслідок послаблення карантину відбулося чергове збільшення кількості захворілих на коронавірус. В Україні з 11.05.2020 р. теж відбувся перший етап послаблення карантину, який поки незначно відобразився на збільшенні кількості захворювань на коронавірус.

Проаналізувавши тренди України, Польщі та Швеції для здійснення середньострокового прогнозу, можна зробити такі висновки: в другій половині травня кількість захворювань, ви-

явлених за день, у Швеції буде стрімко знижуватися з величиною достовірності апроксимації  $RI = 0,974$  за закономірністю  $y = -2E-07x^6 + 4E-05x^5 - 0,003x^4 + 0,121x^3 - 1,435x^2 + 12,53x + 30,15$ . В Україні внаслідок першого етапу послаблення карантину теж спостерігатиметься динаміка до збільшення кількості щоденно захворілих на коронавірус з величиною достовірності апроксимації  $RI = 0,992$  згідно з поліномом п'ятого степеня:  $y = 4E-06x^5 - 0,000x^4 + 0,051x^3 - 0,950x^2 + 6,431x - 10,68$ . А от у Польщі внаслідок послаблення карантину відбуватимуться незначне зростання кількості щоденно виявлених захворювань і далі поступовий спад із величиною достовірності апроксимації  $RI = 0,977$  згідно з  $y = -2E-08x^6 - 5E-07x^5 + 0,000x^4 - 0,076x^3 + 2,665x^2 - 21,41x + 48,45$ . Ці прогнози зроблені без урахування глобальних впливів, наприклад таких, як повне припинення всіх карантинних обмежень.

Для здійснення короткострокового прогнозування (передбачення) кількості підтверджених випадків зараження коронавірусом COVID-19 використано неітераційну штучну нейронну мережу (ШНМ) на основі радіальних базисних функцій (РБФ) із додатковими латеральними зв'язками між нейронами прихованого прошарку [5–7], зображену на рис. 9. Така ШНМ здійснює прогнозування в режимі реального часу із задовільною точністю. У цієї РБФ ШНМ входами є вектор  $X$ , а виходами є вектор  $Y$ . На вхід подається часова послідовність загальної кількості хворих на COVID-19 в Україні в момент часу  $t_i$ , з виходу знімають цю ж послідовність, але в наступний момент часу  $t_{i+1}$ .

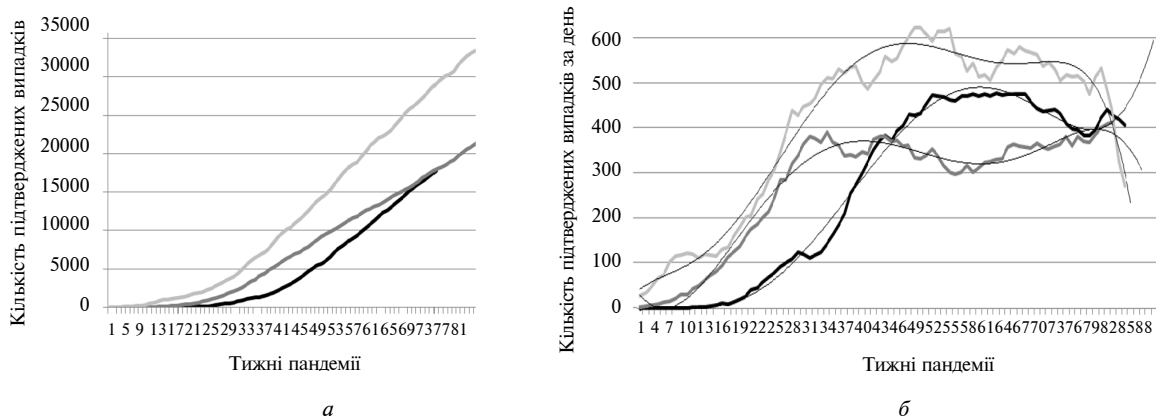


Рис. 8. Сумарна кількість виявлених випадків захворювання (а) та усереднена по 7-ми днях кількість захворювань, виявлених за день, із їхніми трендами (б): — — Україна; — — Польща; — — Швеція

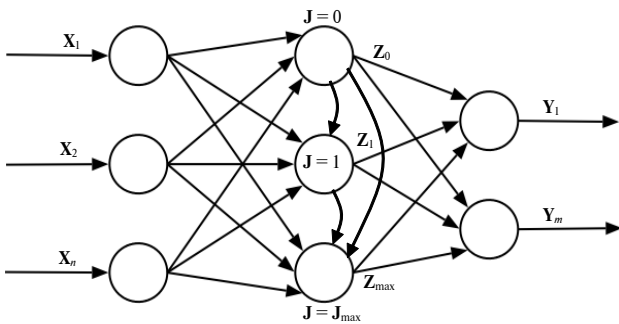


Рис. 9. Структура штучної нейронної мережі на основі радіальних базисних функцій із додатковими латеральними зв'язками між нейронами прихованого прошарку

На рис. 10 зображено результат передбачення РБФ ШНМ із додатковими латеральними зв'язками між нейронами прихованого прошарку з випередженням на один день загальної кількості хворих на COVID-19 в Україні. За перше значення брали загальну кількість хворих на коронавірус в Україні, коли вона перевищила 100.

Середньоквадратична зведена до діапазону значень похибка навчання становить 0,39 %, максимальна – 1,06 %. Застосуємо метод часових вікон, тобто передбачене РБФ ШНМ значення подаємо на вхід нейронмережі як нове і здійснюємо передбачення наступного значення. Тобто здійснимо середньостроковий прогноз до кінця травня загальної кількості хворих на COVID-19 в Україні. Його результати наведені на рис. 11.

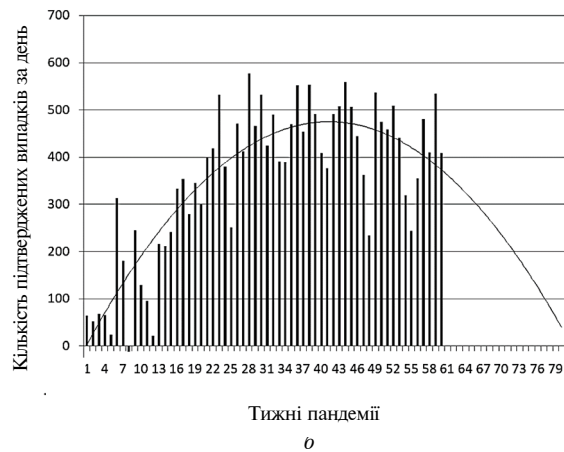
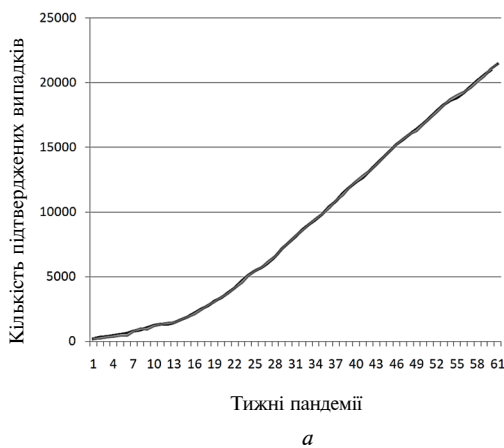


Рис. 10. Прогноз штучної нейронної мережі на основі радіальних базисних функцій кількості хворих на COVID-19 в Україні (а) та щоденно (б): — дані; — передбачення

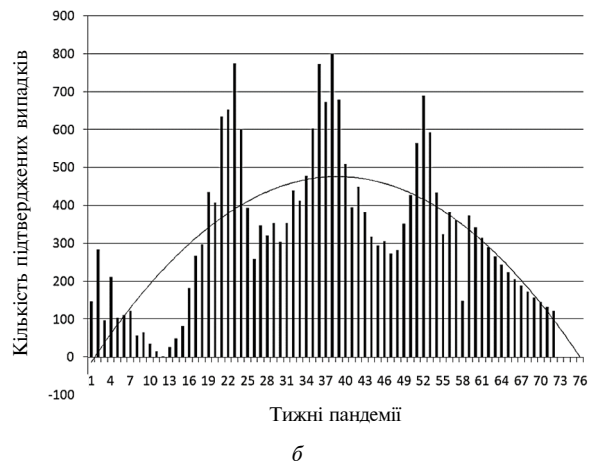
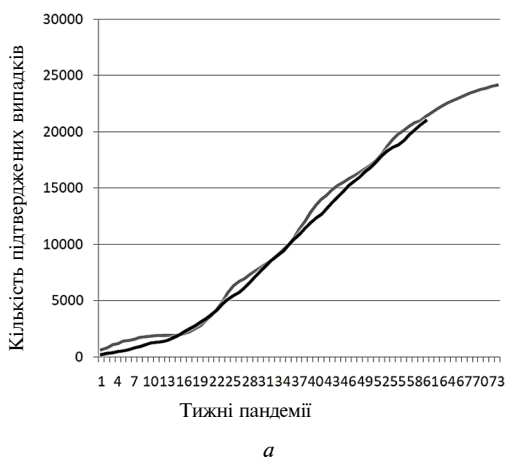


Рис. 11. Прогноз до кінця травня: а – кількості захворювань COVID-19 в Україні; б – щоденно: — дані; — прогноз



Середньоквадратична зведена до діапазону значень похибка навчання становить 0,55 %, максимальна – 1,43 %. З прогнозованих значень видно тенденцію до зменшення кількості хворих із локальними спалахами хвороби, які не призведуть до глобального збільшення кількості захворювань.

### Висновки

Прогнозування захворювання на COVID-19 в Україні є складною багатопараметричною задачею. Від її успішного розв'язання залежать багато сфер економіки, техніки та науки. Проаналізувавши кілька підходів до прогнозування кількості захворювань на COVID-19 в Україні, можна сказати, що пандемія в 20-х числах травня починає “виходити” із плато і кількість щоденно захворілих починає зменшуватися. Перше послаблення карантинних обмежень не дало великого сплеску захворювання, що є позитивною тенденцією до наступних кроків у послабленні карантину. У другій частині травня буде спостерігатися зменшення кількості захворювань.

У результаті проведених досліджень встановлено кореляційну залежність між кількістю хворих в Україні, Італії та Іспанії. Згідно з довгостроковим прогнозом, якщо українці будуть дотримуватися всіх рекомендацій на кожному етапі послаблення карантину, то в Україні буде розгортання італійського сценарію, але зі значно меншою кількістю захворілих. Згідно з цим сценарієм, щоденно буде виявлено близько 200 хворих ближче до кінця червня.

З урахуванням подібності траєкторій України, Польщі та Швеції було здійснено середньостроковий прогноз і встановлено, що Україна відхиляється від траєкторії Польщі і наближається до траєкторії Швеції із незначним запізненням у тиждень. Якщо не буде спалахів, спричинених порушенням карантинних обмежень, то Україна на тиждень пізніше закінчить боротьбу з коронавірусом, ніж Швеція.

Провівши коротко- та середньострокові прогнози за допомогою РБФ ШНМ, ми отримали такі результати: якщо другий етап карантину не дасть масового його порушення і, як наслідок, спалаху поширення коронавірусу, то на кінець травня кількість щоденно захворілих на COVID-19 в Україні становитиме близько 250 чоловік із незначними “локальними спалахами” хвороби.

Усі проведені прогнози із застосуванням різних методів і щодо різних країн дають сумірні результати. Ці прогнози вказують на доцільність проведення другого етапу послаблення карантинних обмежень у запланований період.

Подальші дослідження із методами прогнозування будуть застосовані для кожної області окремо. Визначивши таким чином області, де пандемія ще не досягла максимального значення, можна дати рекомендації про відтермінування у них послаблення карантину. Передбачаючи локальні спалахи захворювання на COVID-19, можна визначати чи є достатніми кількість місць у лікарнях цих областей, кількість тестів і лікарських засобів.

### References

- [1] *Scientists from Oxford Estimate that There are Almost 13 Thousand Patients with the Coronavirus in Ukraine* [Online]. Available: <https://glavcom.ua/news/vcheni-z-oksforda-vvazhayut-shcho-v-ukrajini-mayzhe-13-tis-hvorih-na-koronavirus-670592.html>
- [2] *Project “FORSITE COVID-19” of the World Data Center for Geoinformatics and Sustainable Development, Igor Sikorsky KPI* [Online]. Available: <http://wdc.org.ua/uk/node/190016>
- [3] *End of the Covid-19 Pandemic in Ukraine: Scientists Made an Optimistic Forecast* [Online]. Available: <https://prm.ua/zavershennya-pandemiyi-covid-19-v-ukrayini-vcheni-zrobili-optimistichniy-prognoz/>
- [4] *Forecast of the Development of the COVID-19 Epidemic in Ukraine in the Period from April 28 to May 5, 2020 and Analysis of Possible Scenarios for the Development of the Epidemic in the Period from May 6 to June 5, 2020. “Forecast of WG-3”* [Online]. Available: <http://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2020/04/200428221156130-7671.pdf>
- [5] R. Tkachenko *et al.*, “Committee of the combined RBF-SGTM neural-like structures for prediction tasks”, *Lecture Notes Comp. Sci.*, vol. 11673, pp. 267–277, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-27192-3\_21
- [6] I. Izonin *et al.*, “Committee of SGTM neural-like structures with RBF kernel for insurance cost prediction task”, in *Proc. IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2019, pp. 1037–1040. doi: 10.1109/ukcon.2019.8879905
- [7] R. Tkachenko *et al.*, “Committee of the SGTM neural-like structures with extended inputs for predictive analytics in insurance”, *Commun. Comp. Inform. Sci.*, vol. 1054, pp. 121–132, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-27355-2\_9

А.Н. Павлюк, Н.К. Лысяя, О.Ю. Федевич, О-А.А. Стронцицкая

#### ПРОГНОЗ КОЛИЧЕСТВА БОЛЬНЫХ COVID-19 В УКРАИНЕ

**Проблематика.** Одной из самых актуальных проблем в мире является пандемия COVID-19. От ее распространения и продолжительности зависит, будут ли продолжать ослаблять карантинные ограничения, влияющие на экономическую и социальную ситуацию в мире в целом и в Украине в частности.

**Цель исследования.** На основе анализа литературных источников и собственных проведенных исследований осуществить прогноз количества больных COVID-19 в Украине и разработать рекомендации относительно целесообразности введения последующих этапов ослабления карантина.

**Методика реализации.** Выявление корреляционной зависимости между количеством больных коронавирусом в Украине и в других странах. Построение трендов для осуществления долго- и среднесрочного прогнозов количества больных COVID-19 в Украине. Применение неитерационных искусственных нейронных сетей (ИНС) на основе радиально-базисных функций (РБФ) с дополнительными латеральными связями между нейронами скрытого слоя для осуществления краткосрочного прогноза количества больных коронавирусом.

**Результаты исследования.** Выявлена корреляционная зависимость между количеством больных коронавирусом в Украине, Италии и Испании. Построен тренд с помощью полиномов с 2 до 6-й степени для долгосрочного прогноза количества больных COVID-19 в Украине и осуществлен долгосрочный прогноз. Для среднесрочного прогноза использовано сходство траекторий Украины с траекториями Польши и Швеции. Установлено, что Украина все больше отклоняется от траектории Польши и приближается к траектории Швеции с опозданием в 2-3 дня. Применены РБФ ИНС с дополнительными латеральными связями между нейронами скрытого слоя для краткосрочного прогноза количества больных COVID-19 в Украине. Среднеквадратическая приведенная к диапазону значений погрешность обучения ИНС для прогноза на 14 дней составляет 0,55 %, максимальная – 1,43 %.

**Выводы.** На основе проведенных прогнозов продемонстрировано влияние первого этапа ослабления карантина и показано, как повлияет на заболевание второй этап ослабления карантина.

**Ключевые слова:** количество больных; COVID-19; пандемия; вирус SARS-CoV-2; карантин; краткосрочный прогноз; среднесрочный прогноз; долгосрочный прогноз; неитерационные искусственные нейронные сети; радиально-базисная функция.

O.M. Pavliuk, N.K. Lysa, O.Yu. Fedevych, O-A.A. Strontsitska

#### THE FORECAST OF CONFIRMED COVID-19 INFECTION CASES IN UKRAINE

**Background.** COVID-19 pandemic is one of the world's newest and most actual problem. The only workable way to stop the spreading of the disease is to introduce quarantine. The stronger quarantine restrictions the stronger they affect the economic and social situation.

**Objective.** Based on the analysis of the literature sources and the own research, we forecast the number of patients with COVID-19 in Ukraine and develop recommendations on the feasibility of introducing the next stages of quarantine limitations.

**Methods.** The following methods were used: the correlation identification between the number of patients with coronavirus in Ukraine and other countries; the development of the trends for long-term and medium-term forecasts of the number of patients with COVID-19 in Ukraine; the use of the non-iterative artificial neural networks (ANN) based on the radial basis functions (RBF) with additional lateral connections between neurons of the latent layer to make a short-term forecast of the number of patients with the disease.

**Results.** The correlation between the number of coronavirus patients in Ukraine, Italy and Spain was revealed. The trend was constructed with the help of polynomials from the 2nd to the 6th degree for long-term forecast of the number of patients with COVID-19 in Ukraine and the long-term forecast was made. The similarities of Ukraine's trajectories with Poland and Sweden were used for the medium-term forecast. It is established that Ukraine is increasingly deviating from the trajectory of Poland and approaching the trajectory of Sweden with a delay of 2-3 days. ANN RBF with additional lateral connections between neurons of the latent layer were used for short-term forecast of the number of patients with COVID-19 in Ukraine. The RMS error of the ANN training for the 14-day forecast is 0.55%, and the maximum is 1.43%.

**Conclusions.** Based on the forecasts, the effect of the first stage of quarantine easing is shown, and the second stage of quarantine restrictions showed the effect on the disease.

**Keywords:** number of patients; COVID-19; pandemic; SARS-CoV-2 virus; quarantine; short-term forecast; middle-term forecast; long-term forecast; non-iterative artificial neural networks; radial basis function.

Рекомендована Радою  
факультету прикладної математики  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції  
26 травня 2020 року

Прийнята до публікації  
05 червня 2020 року