

УДК 621.372

### КУСКОВО-ЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ПОШИРЕННЯ КОРОНО ВІРУСУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

В.М. Заяць

*Університет водного господарства та природокористування*

*Вул. Соборна, 11, Рівне, 33000, Україна*

*UTP University of Science and Technology*

*Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland*

*В роботі автором запропоновано кусково-лінійну модель поширення корона вірусу 2019 на основі аналізу результатів статистичних досліджень, які отримані Всесвітньою організацією здоров'я (ВОЗ), Міністерством охорони здоров'я (МОЗ) України та Центром математичного моделювання НАН України протягом семи місяців від моменту появи вірусу. На основі цієї моделі та прогнозування швидкості наростання епідеміологічного захворювання на COVID-2019 зроблені оцінки часу початку зникання вірусу та неперервного зменшення кількості захворювань осіб, які потребують госпіталізації.*

*Отримані результати мають як теоретичне так і прикладне значення, оскільки дозволяють, як мінімум, планувати і вести активний спосіб життя, економити матеріальні та людські ресурси, ефективно і адекватно реагувати на прояви вірусних захворювань до повного їх зникання.*

*Зауважимо, що запропонована модель є моделлю першого наближення і потребує уточнення, оскільки не враховує впливу цілого ряду факторів на протікання процесу розповсюдження вірусу.*

**Ключові слова:** *корона вірус, кусково-лінійна модель, статистичні дослідження, комп'ютерне моделювання.*

**Вступ.** При аналізі динамічних процесів складної природи доцільно скористатися створенням дискретної або кусково-лінійної моделі, підходи до побудови яких описано в роботах [1-3].

При створенні нових реальних пристроїв, дослідженні невивчених фізичних чи природних явищ або процесів, побудові систем розпізнавання та ідентифікації, що мають бажані характеристики формаційного сигналу або невідомі характеристики, які підлягають вивченню, доцільно провести аналітичне або комп'ютерне моделювання й аналіз, створивши адекватні математичної моделі об'єкта, що розробляється чи вивчається. Такий підхід вимагає значно менших часових і технічних засобів порівняно з фізичним чи натурним експериментом, особливо на попередній стадії розробки моделі чи аналізі складно структурованого процесу за відсутності достовірної апріорної інформації про оточуюче середовище та поведінку об'єктів, що в ньому знаходяться.

Останнім часом у нелінійній динаміці широке застосування знаходять дискретні моделі систем [3; 4], для яких дискретність закладена в природі самого об'єкта досліджень, а не є наслідком дискретизації неперервної системи.

Доцільність використання дискретних за своїм походженням моделей пояснюється такими особливостями:

- простотою математичного опису порівняно з неперервними моделями;
- наявністю суттєво ширшого спектру динамічних режимів порівняно з відомими моделями;
- нескінченною вимірністю, що дозволяє моделювати кожен нову гармоніку процесу шляхом її введення у вектор змінних стану, тоді як для неперервних систем для вирішення цієї задачі необхідно підвищувати розмірність системи;
- відсутністю необхідності визначення кроку дискретизації, оцінки локальної і глобальної похибок чисельних методів, областей стійкості та синхронізації;
- зручністю та кращою адаптованістю до постановки комп'ютерного експерименту порівняно з неперервними моделями.
- можливістю прогнозування та передбачення поведінки об'єкта чи явища в майбутньому на основі неповних вхідних даних

Моделі, дискретні за своєю природою, застосовні як до побудови пристроїв, що мають бажані режими, так і до розпізнавання та ідентифікації ситуацій у системах зі складною динамікою й поведінкою.

Найбільш простими і близькими до дискретних моделей є кусково-лінійні моделі, що дозволяє аналізувати їх нескладними засобами, зберігаючи якісні особливості процесу і в першому наближенні отримати аналітичні оцінки для прогнозування його поведінки.

**Метою роботи** є розробка найпростішої кусково-лінійної моделі для опису процесу розвитку короно вірусу на заданому інтервалі часу з метою прогнозування та передбачення його поведінки. Побудова такої моделі дасть можливість в першому наближенні оцінити момент часу, коли вірус почне зникати і кількість захворювань, починаючи із заданого часового інтервалу не буде зростати.

**Вхідні дані.** Процес поширення захворювання на COVID 2019 розпочався на початку березня 2020 р. і станом на кінець вересня 2020 р. інтенсивно розвивається по всьому світу. Як засвідчують результати нагромадження статистичних даних, отримані Всесвітньою організацією здоров'я [5], Міністерством охорони здоров'я України [6], Центром математичного моделювання АН України [7], опубліковані в Інтернет ресурсах, середня кількість захворювань людей на COVID 2019 протягом місяця практично подвоюється протягом останніх трьох місяців. За даними цих поважних організацій за час епідемії на COVID 2019 перехворіє порядку 50 – 80% населення земної кулі. При цьому 1% від захворілих не зможе подолати хворобу. Маючи такий неповний набір даних побудуємо примітивну кусково-лінійну модель для прогнозування поведінки захворювання на наступний часовий період.

**Побудова моделі.** При побудові моделі будемо виходити із наявної статистики захворювань на COVID-2019 на кінець кожного місяця 2020 р. [8], починаючи з кінця березня і до кінця вересня, як показано в табл.1.

Таблиця 1

**Статистика захворювань на COVID-2019  
на кінець кожного місяця 2020 року в Україні**

березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень
450	10490	23072	45000	69000	121000	208000

Графік залежності загальної кількості захворювань на COVID-2019 на кінець кожного місяця 2020 року в Україні наведено на рис. 1 Як впливає із аналізу наведеного графіка, загальна кількість захворювань ( $K_0$ ) досягнута на кінець останнього місяця продовжує зростати, порівняно з загальною кількістю захворювань, досягнута на кінець попереднього місяця ( $K_n$ ). Ось це відношення:

$$K_3 = \frac{K_{n+1}}{K_n}$$

назвемо коефіцієнтом зростання рівня захворюваності на заданому періоді часу. Очевидно, початку моменту зникання вірусу відповідатиме критичне значення  $K_3=1$ . Після досягнення цього значення кількість захворювань не буде зростати. З плином часу кількість захворювань може залишатися незмінним, якщо ніхто не вилікується за цей час або зменшиться внаслідок одужання або летального виходу.

Значимо, що  $K_3$  на проміжку семи місяців поступово зменшується від 22 до 1,5. Це дає обережний оптимізм прогнозувати що надалі  $K_3$  буде зменшуватися і надалі, наближаючись до критичного значення.

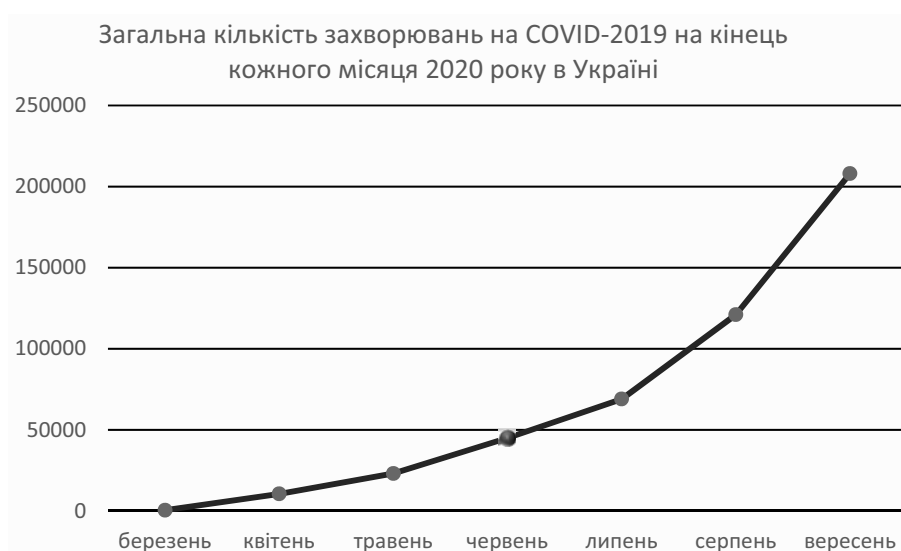


Рис.1. Кусково-лінійна модель розповсюдження короно вірусу в Україні

Навіть припустивши, що коефіцієнт зростання захворюваності залишатиметься незмінним

$$K_3 = 1,5$$

протягом періоду зараження всього населення COVID 2019 ми отримаємо оцінку проміжку часу, через який рівень захворюваності не зростатиме. Як впливає з табл.2

Таблиця 2

### Оцінка часу зникання кількості захворювань в Україні

жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень
312000	468000	702000	1053000	1580000	2370000	3 553 875

станом на 31 березня 2021 р. зростання епідемії в Україні припиниться, оскільки буде досягнуто 10 % інфікування населення України, що складає порядку 3 600 000 осіб. При розрахунках вибраний саме такий поріг інфікування з тієї причини, що навіть якщо допустити інфікування вірусом половини населення заданого регіону, то в двох третин захворювання пройде в легкій формі без госпіталізації (самоізоляція, потужний природний імунітет) а половина з тих, що залишаються в кількості не більшій 20% не прийме участь у лікуванні через ряд причин, основна з яких – це власна безвідповідальність. Також, хоча офіційно вважається, що в Україні проживає. 40 млн. чол., 5 млн. з них проживає або працює за кордоном і за потреби долатиме недугу на території перебування.

Побудуємо ще одну модель на основі статистичної бази даних захворювань на COVID 2019 у світі. Знову виходимо із наявної статистики захворювань на COVID 2019 у світі на кінець кожного місяця 2020 р. [7-8], починаючи з кінця березня і до кінця вересня, як показано в табл.3:

Таблиця 3

### Статистика захворювань на COVID-2019 на кінець кожного місяця 2020 року в світі

березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень
724082	3000000	6000000	10000000	18000000	25000200	35000100

Графік залежності загальної кількості захворювань на COVID-2019 на кінець кожного місяця 2020 року в світі наведено на рис. 2 Як впливає із аналізу наведеного графіка, загальна кількість захворювань  $K_0$ , досягнута на кінець останнього місяця майже не зростає, порівняно з загальною кількістю захворювань

Зазначимо, що  $K_3$  у світі на проміжку семи місяців поступово зменшується від 4,1 до 1,4. Це дає можливість прогнозувати що надалі  $K_3$  буде зменшуватися, наближаючись поступово до одиниці.

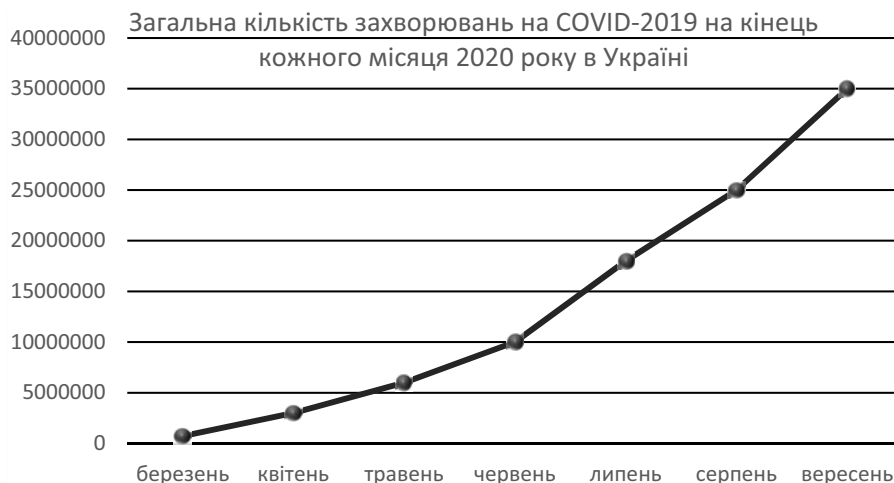


Рис.2. Кусково-лінійна модель розповсюдження короно вірусу в світі

Вважаючи, що коефіцієнт зростання захворюваності у світі надалі залишатиметься незмінним

$$K_3 = 1,4$$

протягом всього періоду зараження 10 % населення світу на KOVID 2019 ми отримуємо оцінку проміжку часу, через який рівень захворюваності не зростатиме. Як впливає з табл.4

Таблиця 4

#### Оцінка часу зникання кількості захворювань в світі

жовтень	листопад	грудень	січень	лютий	березень	квітень
49 000 140	68 600 196	96 040 274	134 456 384	188 238 938	263 534 513	368 948 318
травень	червень					
516 527 645	723 138 703					

за станом на 31 червня 2021 р. зростання епідемії в світі припиниться, оскільки буде досягнуто 10 % інфікування населення світу, що складе приблизно 72 000 000 осіб.

Передбачити як відбуватиметься процес оздоровлення суспільства від вірусу дана модель не дозволяє, оскільки при її створенні не враховано цілий ряд факторів: процедури лікування та вакцинації, людський фактор, зокрема, дотримання елементарних правил особистої безпеки (масковий режим, дистанція при спілкуванні 1,5 м, постійне миття рук з милом та використання антисептиків, мінімізація контактів з оточуючим середовищем при збереженні активного способу життя), готовність до проведення тестувань на предмет наявності вірусу та імунітету, вплив екології, та інше. Усі ці фактори суттєво

впливають на перебіг вірусного захворювання і при його ігноруванні можуть привести до плачевних наслідків. Але виходячи з наявних засобів лікування можна стверджувати, що після припинення наростання епідемії короно вірусу протягом 3-4 тижнів епідемію буде подолано.

**Висновки.** У роботі запропонована кусково-лінійна модель розвитку COVID 2019, яка побудована на основі аналізу статистичних даних. Модель є відкритою і може бути уточнена в процесі отримання нової інформації.

На основі даної моделі проведені попередні оцінки процесу поширення захворювання як в Україні так і за кордоном і зроблені прогнози щодо подальшого розвитку вірусу.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день розвиток вірусу в Україні є швидким з коефіцієнтом зростання  $K_3=1.7$ , що відповідає практично подвоєнню середнього числа захворювань за добу через інтервал 1 місяць. Такий процес має місце у проміжку трьох останніх місяців. У світі епідемія зростає дещо повільніше з коефіцієнтом зростання  $K_3=1.4$ , що спостерігається протягом останніх двох місяців

Розглянута модель є моделлю першого наближення і потребує уточнення, оскільки ніяким чином не враховує людського фактору, процедур лікування, вакцинації, впливу природного імунітету людини на хід процесу.

### Список використаних джерел

1. Заяць В.М. Построение и анализ .модели дискретной колебательной системы // Кибернетика и системный анализ. – 2000. – С. 161-165..
2. Заяць В.М. Моделі дискретних коливних систем.– Львів: В-во УАД, – 2011. – С. 37-39.
3. Заяць В.М. Методи, алгоритми та програмне забезпечення для моделювання та аналізу динаміки складних об'єктів і систем на основі дискретних моделей, Львів, Новий Світ, 2009, – 400 с.
4. Шарковский С.Ф., Коляда А.Г., Сивак В.В., Федоренко А.Н. Динамика одномерных отображений. – К.: Наукова думка, 1989. – 216 с.
5. <https://www.who.in.> . – Internet resource.
6. <https://www.moz.gov.ua/statistics> . – Internet resource.
7. <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6598> . – Internet resource.
8. <https://www.pravda.com.ua/cdn/covid-19/cpa/> . Internet resource.

### REFERENCES

1. Zajac' V.M. (2000). Postroenie i analiz .modeli diskretnoj kolebatel'noj sistemy // Kibernetika i sistemnyj analiz. – S. 161-165. (in Russian)
2. Zayac' V.M. (2011). Modeli dyskretnykh kolyvnykh system.– L'viv: V-vo UAD. — S. 37-39. (in Ukrainian)
3. Zayac' V.M. (2009). Metody, alhorytmy ta prohramne zabezpechennya dlya modelyuvannya ta analizu dynamiky skladnyx ob'yektiv i system na osnovi dyskretnyx modelej, L'viv, Novyj Svit 400 s. (in Ukrainian)
4. Sharkovskij S.F., Koljada A.G., Sivak V.V., Fedorenko A.N. (1989). Dinamika

- odnomernyh otobrazhenij. – K.: Naukova dumka– 216 s. (in Russian)
5. <https://www.who.in.> . – Internet resource.
  6. <https://www.moz.gov.ua/statistics> . – Internet resource.
  7. <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=6598> . – Internet resource.
  8. <https://www.pravda.com.ua/cdn/covid-19/cpa/> . Internet resource.

**DOI 10.32403/2411-9210-2020-1-43-44-49**

## **PIECEWISE LINEAR MODEL OF CORONAVIRUS DISTRIBUTION IN UKRAINE AND IN THE WORLD**

V.M. Zaiats

*National University of Water Management and Nature Resources Use*

*11, Soborna St., Rivne, 33000, Ukraine*

*UTP University of Science and Technology*

*7, Al. prof. S. Kaliskiego, Bydgoszcz, 85-796, Poland*

*vasyl.zaiats@nuwm.edu.ua, vasyi.zaiats@utp.edu.pl*

*The author proposes a piecewise linear model of the spread of coronavirus 2019 based on the analysis of statistical studies obtained by the World Health Organization (WHO), the Ministry of Health (MH) of Ukraine and the Center for Mathematical Modeling of the NAS of Ukraine within seven months from appearance of the virus. Based on this model and forecasting the rate of growth of the epidemiological disease at COVID-2019, estimates of the time of disappearance of virus outbreak and a continuous decrease in the number of diseases of persons in need of hospitalization are made.*

*The obtained results have both theoretical and applied significance, as they allow, at least, to plan and lead an active lifestyle, save material and human resources, effectively and adequately respond to the manifestations of viral diseases until their complete disappearance.*

*It should be noted that the proposed model is a model of the first approximation and needs to be clarified, as it does not take into account the influence of a number of factors on the process of virus spread.*

**Key words:** *coronavirus, piecewise-linear model, statistical research, computer simulation.*

*Стаття надійшла до редакції 02.10.2020*

*Received 02.10.2020*