

УДК 004.9, 004.428.4

Н.О. СОКОЛОВА, П.С. КОРНЮШЕНКО
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

МУЛЬТИАГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ З ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЮ ПІДТРИМКОЮ

Предмет сучасної прикладної математики – потенційна діяльність людини-агента, здійснена в конкретних соціально-культурних умовах. Математичні моделі будуються для отримання конкретного результату з допомогою конкретної обчислювальної системи з приводу конкретної проблемної ситуації. Предметом моделювання є практична життєва проблемна ситуація – реальна (не абстрактна), яка включає в себе людину-агента, для якого ситуація є проблемною: має місце стан ситуації А, але агенту потрібно отримати стан ситуації Б. Наявність розриву між станами А і Б і представляє собою проблему. Мета дослідження полягає в тому, щоб дати можливість агенту вчинити деяку практичну дію для досягнення поставленої мети, тобто реалізувати його намір, і тим самим вирішити (або перетворити) проблемну ситуацію.

Математичне моделювання є потужним інструментом для вивчення складних об'єктів і процесів, що відбуваються у реальному світі. Особливо незамінне воно в тих областях досліджень, де реальні експерименти над об'єктами ускладнені або просто неможливі. Прикладом однієї з таких областей являється епідеміологія. Проблема поширення різного роду інфекцій і епідемій є актуальною для усього людства.

В умовах пандемії коронавірусу важливо виявити закономірності та характеристики розповсюдження інфекції для того, щоб застосовувати ефективні засоби захисту та боротьби із нею. В цілому, актуальність моделювання динаміки COVID-19 з геоінформаційною підтримкою обумовлена необхідністю визначення властивостей розповсюдження захворювання на території України в умовах українського суспільства.

Дана стаття присвячена розробці мультиагентної моделі поширення інфекційних захворювань з геоінформаційною підтримкою на прикладі розповсюдження COVID-19 у Дніпропетровській області, враховуючи різні сценарії моделювання розподілу поведінки агентів в межах анклаву. Проведено аналіз динамічних закономірностей і морфологічних характеристик розповсюдження коронавірусу шляхом дослідження мультиагентної моделі, яка дозволяє врахувати індивідуальні властивості об'єктів-агентів.

Ключові слова: COVID-19; NetLogo; агент; вірус; геоінформаційна підтримка; мультиагентне моделювання; моделювання розповсюдження інфекційних захворювань; сценарії моделювання.

Н.О. СОКОЛОВА, П.С. КОРНЮШЕНКО
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКОЙ

Предмет современной прикладной математики - потенциальная деятельность человека-агента, осуществленная в конкретных социально-культурных условиях. Математические модели строятся для получения конкретного результата с помощью конкретной вычислительной системы по поводу конкретной проблемной ситуации. Предметом моделирования является практическая жизненная проблемная ситуация - реальная (не абстрактная), которая включает в себя человека-агента, для которого ситуация является проблемной: имеет место состояние ситуации А, но агенту нужно получить состояние ситуации Б. Наличие разрыва между состояниями А и Б и представляет собой проблему. Цель исследования заключается в том, чтобы дать возможность агенту совершить некоторую практическую действие для достижения поставленной цели, то есть реализовать его намерение, и тем самым решить (или превратить) проблемную ситуацию.

Математическое моделирование является мощным инструментом для изучения сложных объектов и процессов, происходящих в реальном мире. Особенно незаменимо оно в тех областях исследований, где реальные эксперименты над объектами осложненные или просто невозможны. Примером одной из таких областей является эпидемиология. Проблема распространения различного рода инфекций и эпидемий актуальна для всего человечества.

В условиях пандемии коронавируса важно выявить закономерности и характеристики распространения инфекции для того, чтобы применять эффективные средства защиты и борьбы с ней. В целом, актуальность моделирования динамики COVID-19 с геоинформационной поддержкой обусловлена необходимостью определения свойств распространения заболевания на территории Украины в условиях украинского общества.

Данная статья посвящена разработке мультиагентной модели распространения инфекционных заболеваний с геоинформационной поддержкой на примере распространения COVID-19 в Днепропетровской области, учитывая различные сценарии моделирования распределения, поведения агентов в пределах анклава. Проведен анализ динамических закономерностей и морфологических характеристик распространения коронавируса путем исследования мультиагентной модели, которая позволяет учесть индивидуальные свойства объектов-агентов.

Ключевые слова: COVID-19; NetLogo; агент; вирус; геоинформационная поддержка; мультиагентное моделирование; моделирование распространения инфекционных заболеваний; сценарий моделирования.

N.O. SOKOLOVA, P.S. KORNIUSHENKO
Oles Honchar Dnipro National University

DISEASE SPREADING MULTI-AGENT MODELING WITH GEOINFORMATION SUPPORT

The subject of modern applied mathematics is the potential activity of a human agent, carried out in specific socio-cultural conditions. Mathematical models are built to obtain a specific result using a specific computing system about a specific problem situation. The subject of modeling is a practical life problem situation - real (not abstract), which includes a human agent for whom the situation is problematic: there is a state of situation A, but the agent needs to get the state of situation B. There is a gap between states A and B and is a problem. The purpose of the study is to enable the agent to take some practical action to achieve the goal, that is, to realize his intention, and thereby solve (or transform) the problem situation.

Mathematical modeling is a powerful tool for studying complex objects and processes in the real world. It is especially irreplaceable in those areas of research where real experiments on objects are complicated or simply impossible. Epidemiology is an example of one such area. The problem of the spread of various kinds of infections and epidemics is relevant for all mankind.

In the context of a coronavirus pandemic, it is important to identify patterns and characteristics of the spread of infection in order to apply effective means of protection and fight against it. In general, the relevance of modeling the dynamics of COVID-19 with geoinformation support is due to the need to determine the properties of the spread of the disease on the territory of Ukraine in the conditions of the Ukrainian society.

This article is devoted to the development of a multi-agent model of the spread of infectious diseases with geoinformation support using the example of the spread of COVID-19 in the Dnipropetrovsk region, taking into account various scenarios for modeling the distribution and behavior of agents within the enclave. The analysis of dynamic regularities and morphological characteristics of coronavirus propagation is carried out by studying the multiagent model, which allows to take into account the individual properties of agent objects.

Key words: COVID-19; NetLogo; agent; virus; geoinformation support; multi-agent modeling; modeling the spread of infectious diseases; simulation scenario.

Постановка проблеми

За останні п'ятнадцять років світ охопило декілька пандемій: атипова пневмонія (SARS-1, 2002р.), пташиний грип (вірус H5N1, 2003р.), свинячий грип (вірус A/H1N1, 2009р.), вірус Ебола (EVD, 2013р.). За різними джерелами найбільша смертність була викликана свинячим грипом, а найбільших збитків (1,5 трлн. доларів) світовій економіці завдала пандемія пташиного грипу [1]. Однак справжнім викликом людству став COVID-19 (SARS-2 Cov, 2019р.). За даними ВОЗ захворіли понад 179 млн. людей [2], а втрати світової економіки тільки у 2020 році за різними оцінками складають 20 трлн. доларів.

Поширення інфекційних захворювань являє собою складне явище з безліччю взаємодіючих факторів. Ключова роль математичної епідеміології полягає в створенні імітаційних моделей поширення патогенів, які служать для розуміння складної динаміки поширення захворювання. Найпоширенішими моделями розповсюдження

патогенів є SIR-модель (Susceptible-Infected-Removed), SEIR-модель (Susceptible-Exposed-Infected-Removed), SEIRD-модель (Susceptible-Exposed-Infected-Removed-Died), SEIHFR-модель (Susceptible-Exposed-Infected-Hospitalized-Funeral-Removed), SEIHFRD-модель (Susceptible-Exposed-Infected-Hospitalized-Funeral-Died-Removed), які ділять популяцію на різні класи та враховують різну кількість з них. Кожна з цих моделей може бути виражена системою диференціальних рівнянь, яка не є лінійною і не вирішувана аналітично. Математичні моделі поширення інфекції, які є системами диференціальних рівнянь, мають ряд недоліків: моделі є неперервними, тоді як процес поширення інфекції – дискретний; не враховуються індивідуальні властивості об'єктів; у моделях присутні «усереднені» параметри, що не відносяться до фізичних властивостей об'єктів; значення деяких параметрів важко або неможливо визначити виходячи із даних статистики [3]. Інший підхід для моделювання процесів в епідеміології - це імітаційне моделювання з використанням мультиагентного методу. Він дозволяє, задавшись початковими параметрами за кожним типом об'єктів і системою правил взаємодії один з одним і довкіллям, виявити динамічні закономірності розвитку інфекції і найбільш суттєві властивості агентів, що сприяють зміні темпів поширення. Перевагою цього підходу є те, що враховуються індивідуальні властивості кожного об'єкту складної системи [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі американських дослідників [5] розглядаються чотири сценарії розповсюдження вірусу COVID-19: відкрита модель, спроба карантину, помірне соціальне і екстенсивне соціальне дистанціювання та їх візуалізація.

Вчені Університету Аальто в Гельсінкі, Фінського метеорологічного інституту та Центру технічних досліджень VTT Гельсінкі і Гельсінського університету створили 3D-модель поширення в замкнутому приміщенні повітряно-крапельних частинок, що виділяються в результаті кашлю або чхання. Поширення було обрховано та змодельовано на суперкомп'ютері CSC [6].

У 2020 році в Базельському університеті група Річарда Нейерома доопрацьована модель SEIR з урахуванням специфічних характеристик пандемії коронавірусу. Модель прогнозує, як швидко буде поширюватися епідемія, скільки людей буде заражено в ході цього процесу, скільки з них помре, скільки буде в критичному стані. Результати подані у вигляді веб-додатку, який містить безліч параметрів, та не є наочними для звичайного користувача [7].

Робочою групою, до складу якої ввійшли фахівці та установи з Національної академії наук України, Національної академії медичних наук України та Київського національного університету імені Тараса Шевченка розроблена детермінована SEIR-модель, що враховує безсимптомних хворих, складність перебігу хвороби і відображає кількість госпіталізованих [8].

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка мультиагентної моделі розповсюдження інфекційного захворювання та її програмна реалізація.

Викладення основного матеріалу дослідження

Імітаційна мультиагентна модель поширення інфекції

Загальна кількість інфікованих агентів на будь-якій ітерації розраховується за формулою:

$$K_{inf} = K_v + K_i - K_e, \quad (1)$$

де K_{inf} – загальна кількість інфікованих, K_v – кількість інфікованих в результаті внутрішніх процесів, K_i – кількість інфікованих іммігрантів, K_e – кількість інфікованих емігрантів. Кількість інфікованих в результаті внутрішніх процесів розраховується за формулою:

$$K_v = \sum_i K_{Z_i} - D, \quad (2)$$

де K_{Z_i} – кількість інфікованих різними шляхами заражень, D – кількість померлих серед інфікованих, Z_i – i -й шлях передачі інфекції. У початковий момент часу є безліч M – безліч об'єктів різного типу: $M = \{\{C_1\}, \{C_2\}, \dots, \{C_p\}\}$, де p – кількість типів об'єктів.

$$C_k = \{c_1^k, c_2^k, \dots, c_{n_k}^k\}, \quad k = 1, p, \quad (3)$$

де C_k – безліч об'єктів типу k ; n_k – загальна кількість об'єктів типу k в початковий момент часу.

Кожному об'єкту з множини, визначеної формулою (3), відповідає набір параметрів:

$$c_i^k \mapsto \{s_i^k, a_i^k, am_i^k, w_i^k, p_i^k, h_i^k\}, \quad i = 1, \dots, n_k, \quad (4)$$

де s_i^k – стать об'єкту; a_i^k – вік об'єкту в початковий момент часу; am_i^k – максимальна тривалість життя об'єкту; w_i^k – кількість взаємодій об'єкту з іншими об'єктами; p_i^k – вірогідність інфікування при взаємодії; h_i^k – тривалість життя інфікованого об'єкту.

Функціонування об'єктів, із параметрами заданими виразом (4), підпорядковане наступним правилам. Виникнення i -го об'єкту типу k у момент часу $t+1$ визначається формулою:

$$(C_k)_t \rightarrow (C_k + \{c_i^k\})_{t+1}, \quad (5)$$

a загибель i -го об'єкту типу k у момент часу $t+1$ визначається формулою:

$$(C_k)_t \rightarrow (C_k - \{c_i^k\})_{t+1}. \quad (6)$$

Система правил, яка визначає зміну a^k – віку об'єкту типу k за одиницю часу:

$$\begin{cases} (c_i^k)_{t-1} \rightarrow (c_i^k)_t \div (a_i^k)_t = (a_i^k)_{t-1} + 1 \\ (a_i^k)_t \geq am_i^k \Rightarrow (C_k)_t \rightarrow (C_k - \{c_i^k\})_{t+1} \end{cases}, k = 1, \dots, p, i = 1, \dots, n_k \quad (7)$$

Час дискретний і вимірюється в ітераціях. На кожній ітерації збільшуємо вік об'єкту на одиницю часу, таке збільшення віку враховано у виразах (5) і (6). Згідно з другим правилом системи (7), необхідно виключити об'єкт з безлічі об'єктів типу k , якщо відведений йому максимальний термін життя вже збіг.

Вираз, що дозволяє зменшувати максимальний термін життя об'єктів типу k на задану кількість ітерацій h_i (максимальна тривалість життя i -го об'єкту після зміни типу) у разі зміни типу об'єкту в результаті взаємодії об'єктів різних типів:

$$\{c_i^k \in C_k \mid k_{t+1} \neq k_t\} \Rightarrow (am_i^k)_{t+1} = \begin{cases} (a_i^k) + h, (a_i^k) + h_i < am_i^k \\ am_i^k, (a_i^k)_t + h_i \geq am_i^k \end{cases} \quad (8)$$

Ймовірність нового інфікування при взаємодії двох агентів існує, якщо виконується умова: $\{c_i^k \in C_k, c_j^m \in C_m \mid k \neq m\} \Rightarrow \exists P(A \cap B) \neq 0$, де елементарна подія A – взаємодія здорового агента з інфікованим $A \in W$, W – простір елементарних подій при взаємодії агентів; елементарна подія B – передача інфекції в результаті взаємодії $B \in \Omega$, Ω – простір елементарних подій при передачі інфекції; $i = 1, \dots, n_k, j = 1, \dots, n_m, n_k$ – кількість об'єктів заданого типу k , n_m – кількість об'єктів заданого типу m .

Заміна i -го об'єкту типу k на j -й об'єкт типу m відбувається при зміні статусу інфікування відповідно до системи виразів:

$$\begin{cases} (C_k)_t \rightarrow (C_k - \{c_i^k\})_{t+1} \\ (C_m)_t \rightarrow (C_m + \{c_j^m\})_{t+1} \end{cases} \quad (9)$$

Для імітаційного моделювання поширення інфекції на основі агентно-орієнтованого підходу, враховуючи системи виразів (8) та (9), були визначені початкові параметри за кожним типом об'єктів та наступні сценарії моделювання і дослідження організації розподілу та поведінки агентів в межах анклав (табл.1). При описі сценаріїв використані наступні терміни:

Агент – модель людини з певними властивостями та правилами поведінки. *Латентний період захворювання* – наявне інфікування, але без прояву симптомів та можливості зараження оточуючих. *Здоровий агент* – неінфікований агент. *Латентний агент* – агент у латентному періоді захворювання, тобто інфікований без симптомів та без можливості зараження оточуючих. *Хворий агент* – інфікований агент із симптомами та можливістю зараження оточуючих.

Кожен агент моделі заданий початковими параметрами, що впливають на його поведінку, і системою правил взаємодії з іншими агентами. Були визначені наступні шаблони:

- поведінка агента протягом одного дня, яка враховує стан агента (на обсервації, на самоізоляції, хворий, одужав);
- переміщення агента;
- зміна статусу хвороби агента, яка враховує можливість зараження агентом оточуючих;
- схема інфікування здорового агента, в залежності від його оточення.

Таблиця 1 – Сценарії моделювання розподілу, поведінки агентів в межах анклав

№	СЦЕНАРІЙ	СЮЖЕТ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ
1	НАСЕЛЕННЯ	Анклав населений мешканцями, що розподілені за віком.
2	ТЕРИТОРІЯ	Мешканці області територіально рівномірно розподілені випадковим чином.
3	СТАН НАСЕЛЕННЯ	Початковий стан мешканців області, загальний показник здоров'я або імунітету.
4	ІНФЕКЦІЯ	Інфікована людина може заражати інших, людина з імунітетом, що вище агресивності вірусу не може захворіти.
5	ОДУЖАННЯ	Після хвороби, людина або одужує, або вмирає.
6	ІМУНІЗАЦІЯ	Людина, що одужала набуває імунітет на певний час вимірюваний у днях.
7	ЛОКАЛІЗАЦІЯ	Мешканці області здорові, живуть та пересуваються звичайним чином.
8	ЗАКОРДОННІ ПЕРЕМІЩЕННЯ	До області надходять та з області виходять люди (імітація переміщення між областями та за кордон), серед них є здорові, хворі з та без симптомів.
9	ПРИКОРДОННИЙ КОНТРОЛЬ	Виконуються заходи прикордонного контролю – хворі не залишають область, хворі із симптомами, що прибувають до області, дотримуються самоізоляції, при цьому хворі без симптомів живуть звичайним життям та після появи симптомів можуть заражати оточуючих.

№	СЦЕНАРІЙ	СЮЖЕТ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ
10	ОБСЕРВАЦІЯ	Обсервація + заходи прикордонного контролю. Обсервація – усі люди, що прибувають до області, дотримуються самоізоляції, знаходяться в обсерваторії (невеликій закритій території), через 14 днів люди тестуються – здорові та хворі без симптомів їдуть додому та живуть звичайним життям, хворі із симптомами дотримуються самоізоляції до одужання.
11	ЗАБОРОНА ПЕРЕМІЩЕНЬ ЧЕРЕЗ КОРДОН	Обмеження пересувань через кордон. Ніхто не залишає та не прибуває до області. На 1 день виявляємо 1 інфіковану людину без симптомів.
12	САМОІЗОЛЯЦІЯ	Самоізоляція усіх хворих із симптомами на другий день прояву (Ніхто не залишає та не прибуває до області, на 1 день виявляємо 1 інфіковану людину без симптомів).
13	ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ	Обмеження пересувань абсолютно усіх людей, коли є хоча б 1 хвора людина із симптомами. Тобто швидкість пересувань людини зменшується удвічі (Ніхто не залишає та не прибуває до області, на 1 день виявляємо 1 інфіковану людину без симптомів).
14	САМОІЗОЛЯЦІЯ + ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ	Самоізоляція хворих + Обмеження пересувань усіх удвічі (Ніхто не залишає та не прибуває до області, на 1 день виявляємо 1 інфіковану людину без симптомів).
15	ПРИКОРДОННИЙ КОНТРОЛЬ + ОБСЕРВАЦІЯ + САМОІЗОЛЯЦІЯ + ОБМЕЖЕННЯ ПЕРЕСУВАНЬ	Переміщення через кордон наявні + Прикордонний контроль + Обсервація + Самоізоляція + Обмеження пересувань удвічі (На 1 день не виявляємо інфікованих).

Мультиагентні моделі зазвичай утримують багато параметрів. Повний їх перебір неможливий. Тому використаний метод статистичних випробувань Монте-Карло. Програмна реалізація, яка використовує ГІС-дані, була виконана у середовищі NetLogo. Інтерфейс побудованої моделі з його складовими елементами та картою Дніпропетровської області наведений на рис. 1.

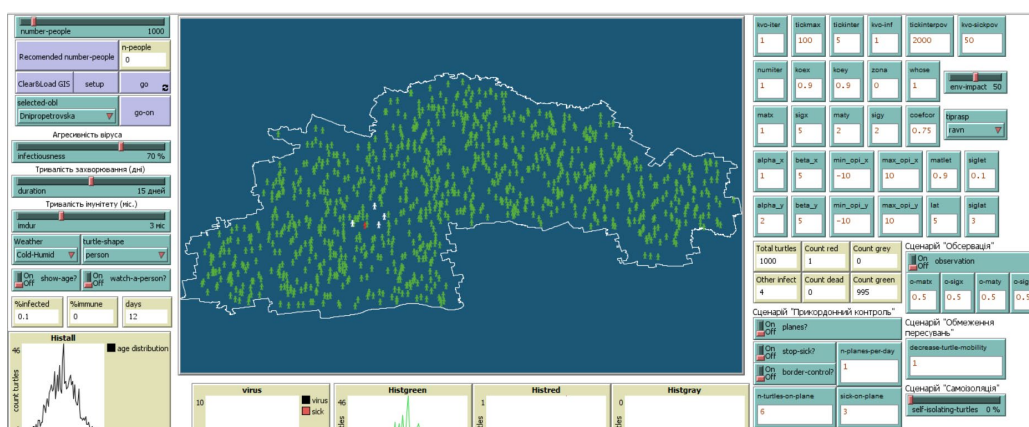


Рис. 1. Інтерфейс програмної реалізації моделі з картою Дніпропетровської області

Програмна реалізація дозволяє моделювати всі сценарії поведінки агентів в межах анклаву. Візуалізація деяких сценаріїв моделювання наведена на рис.2. (здорові агенти - зелені, хворі - червоні та білі, імунізовані – сірі).

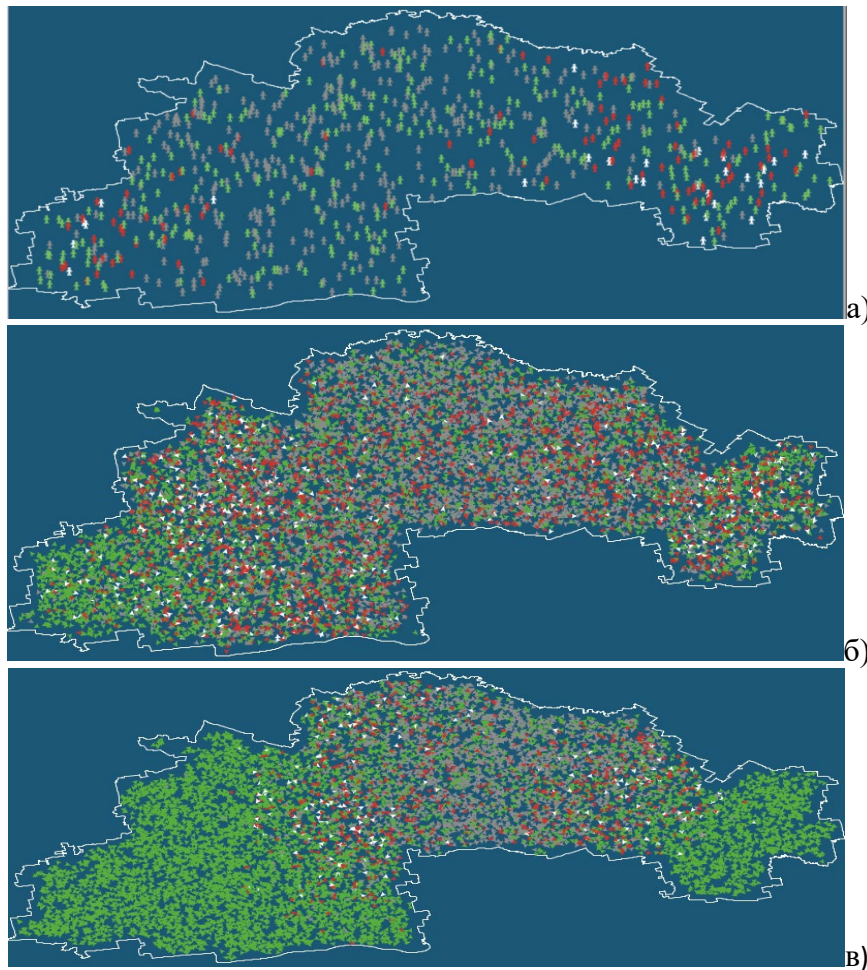


Рис. 2. Візуалізація деяких сценаріїв моделювання: а) «Одужання»; б) «Обмеження пересувань»; в) «Обмеження пересувань» + «Самоізоляція»

Анклав населений мешканцями в розподілі, що за віком, відповідає статистичним даним по Україні. Вік населення розподілений з нормальною щільністю, з середнім 41 і середньоквадратичним відхиленням 12 (із статистичного збірника).

Висновки

Розроблена модель соціальної системи в якій розповсюджується інфекція, що функціонує на основі інформації про властивості об'єктів, які її складають, правил їх взаємодії з іншими об'єктами та навколишнім середовищем, заданими певним набором шаблонів. Модель може бути використана для визначення поточного стану та прогнозування поширення інфекційних захворювань у певній області України при заданих характеристиках.

Список використаної літератури

1. Васильєва Т.А., Леонов С.В. COVID-19, SARS, H5N1, A/H1N1, EVD: порівняльний аналіз впливу пандемій на економічний та соціальний розвиток у національному, світовому та регіональному контекстах. *Науковий погляд: економіка та управління*. №3 (69), 2020. С. 24-28.
2. COVID-19 Health System Response Monitor (HSRM). Режим доступу: [<https://www.covid19healthsystem.org/mainpage.aspx>]
3. Pauline van den Driessche: Reproduction numbers of infectious disease models. In: *Infectious Disease Modelling*, Band 2, KeAi Publishing, August 2017, P. 288–303.

4. Чумаченко, Д.І., Чумаченко, Т.О. Математичні моделі та методи прогнозування епідемічних процесів: монографія. Харків : ТОВ "Планета-Прінт", 2020. 180 с.
5. Stevens H. Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve”. WashingtonPost. 14/03/2020. Режим доступу: [https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/]
6. Vuorinen V., Hellsten A. Researchers modelling the spread of the coronavirus emphasise the importance of avoiding busy indoor spaces. // Режим доступу: [https://www.aalto.fi/en/news/researchers-modelling-the-spread-of-the-coronavirus-emphasise-the-importance-of-avoiding-busy/]
7. Neher R., Aksamentov S., Noll N. COVID-19 scenarios. [https://covid19-scenarios.org/]
8. Бровченко І. Розробка математичної моделі поширення епідемії COVID-19 в Україні. *Світогляд*, 2020, No2 (82).

References

1. Vasylieva, T.A. & Lieonov S.V. (2020). SOVID-19, SARS, H5N1, A/H1N1, EVD: porivnialnyi analiz vplyvu pandemii na ekonomichniy ta sotsialnyi rozvytok u natsionalnomu, svitovomu ta rehionalnomu kontekstakh. *Naukovyi pohliad: ekonomika ta upravlinnia*. **3 (69)**.
2. COVID-19 Health System Response Monitor (HSRM). [https://www.covid19healthsystem.org/mainpage.aspx]
3. Pauline van den Driessche: Reproduction numbers of infectious disease models. In: *Infectious Disease Modelling*, Band 2, KeAi Publishing, August 2017, 288–303.
4. Chumachenko, D.I., & Chumachenko, T.O. (2020). *Matematychni modeli ta metody prohnozuvannia epidemichnykh protsesiv*. Kharkiv : TOV "Planeta-Print".
5. Stevens H. Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve”. WashingtonPost. 14/03/2020. // [https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/]
6. Vuorinen, V., & Hellsten, A. Researchers modelling the spread of the coronavirus emphasise the importance of avoiding busy indoor spaces. // [https://www.aalto.fi/en/news/researchers-modelling-the-spread-of-the-coronavirus-emphasise-the-importance-of-avoiding-busy/]
7. Neher, R., Aksamentov, S., & Noll, N. COVID-19 scenarios. // [https://covid19-scenarios.org/]
8. Brovchenko I. (2020). Rozrobka matematychnoi modeli poshyrennia epidemii COVID-19 v Ukraini. *Svitohliad*, **2 (82)**.

Соколова Наталя Олегівна - к.т.н., ст.викл. кафедри Комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара; e-mail: n.olegowna@gmail.com ORCID: 0000-0003-2493-3553

Корнюшенко Поліна Сергіївна - магістр кафедри Комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара; e-mail: polinakorn1616@gmail.com