

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

15.01 – КМР.1844 «С» 2021.10.29.04. ПЗ

НУБІП України

Суліми Марії Іванівни

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет інформаційних технологій

УДК 519.837:616.98

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету Завідувач кафедри
інформаційних технологій економічної кібернетики
(назва факультету (ННІ)) (назва кафедри)

д.п.н., проф. О. Г. Глазунова
(підпис) (ПІБ)

д.е.н., проф. Д. М. Жерліцин
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2022 р. ” 2022 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

«Оптимізація стратегій протидії поширення епідемій в Україні (на прикладі Covid-19)»

Спеціальність 051 «Економіка»
Освітня програма «Економічна кібернетика»
Програма підготовки освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

к.е.н., доц.

Н. А. Клименко

Виконал

М. Буліма

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

економічної кібернетики

д.е.н., проф. Д.М.Жерлицький

«С» 2021р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Сулімі Марії Іванівні

Спеціальність 051

«Економіка»

Освітня програма

«Економічна кібернетика»

Програма підготовки

освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Оптимізація стратегій протидії поширення епідемій в Україні (на прикладі Covid-19)» затверджена наказом ректора НУБіП України від “29” жовтня 2021р. № 1844 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25.11.2022 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи – дані Міністерства охорони здоров'я України, періодичні видання, світова аналітика

Перелік питань що підлягають дослідженню.

1. Особливості процесу розповсюдження епідемій та її вплив на суспільство

2. Аналізувати основні методи, що застосовуються для прогнозування розповсюдження захворюваності на COVID-19

3. Процеси розповсюдження захворюваності на COVID-19 під впливом різних факторів.

Перелік графічного матеріалу – робота містить 3 таблиці, 22 рисунки.

Дата видачі завдання “26” грудня 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи к.е.н., доц.

Н. А. Клименко

Завдання прийняв до виконання

М. І. Суліма

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Тема: «Оптимізація стратегій протидії поширення епідемій в Україні (на прикладі Covid-19)»

Магістерська робота викладена на 80 сторінках комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці, 22 рисунки. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 48 найменувань. ○ ○

Об'єкт дослідження – процес розповсюдження коронавірусу COVID-19.

Предмет дослідження – математичні моделі динаміки процесу поширення коронавірусу COVID-19 під впливом різних факторів.

Метою дипломної роботи є визначення оптимального набору протиепідемічних заходів на основі їх впливу на процес поширення коронавірусної хвороби.

Методи дослідження – системний аналіз, методи математичної динаміки, обчислювальні методи рішення диференціальних рівнянь, методи прийняття рішень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

АНОТАЦІЯ

Суліма М.І. – Оптимізація стратегій протидії поширення епідемій в Україні (на прикладі Covid-19). – Магістерська робота.

Магістерська робота на здобуття наукового ступеня магістра за освітньою програмою – «Економічна кібернетика» – Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, 2022.

У магістерській роботі висвітлено теоретичні основи проблем розвитку епідемій в сучасному світі. Проаналізовано сучасні методи протидії епідеміям. Проведена оцінка сучасного стану розвитку епідемії COVID-19. Проаналізовано розвиток COVID-19 з використанням різних умов протікання захворювання. Запропоновано оптимізацію задачі вибору стратегії протидії епідемії COVID-19.

Ключові слова: епідемія, захворювання, модель, математичне моделювання, оптимізація, стратегія.

SUMMARY

М.І. – Optimizing strategies for countering the spread of epidemics in Ukraine (using the example of Sovid-19). - Master thesis.

Master's thesis for obtaining a master's degree in the educational program - "Economic Cybernetics" - National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 2022.

In the master's thesis, the theoretical foundations of the problems of the development of epidemics in the modern world are highlighted. Modern methods of combating epidemics are analyzed. An assessment of the current state of the development of the COVID-19 epidemic was carried out. The development of COVID-19 was analyzed using different conditions of the course of the disease. Optimization of the task of choosing a strategy for combating the COVID-19 epidemic is proposed.

Key words: epidemic, disease, model, mathematical modeling, optimization, strategy.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ЕПІДЕМІЙ В СУЧАСНОМУ СВІТІ	9
1.1 Поняття соціальної цінності здоров'я населення	9
1.2 Загроза епідемії в сучасному світі/ причини, масштаби та наслідки	12
1.3 Особливості епідемії COVID-19	25
Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПРОТИДІЇ ЕПІДЕМІЯМ	34
2.1 Аналіз засобів боротьби з епідеміями	34
2.2 Підходи до оцінки заходів протидії епідеміям	41
2.3 Математичні методи епідеміології	43
Висновки до розділу 2	52
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТРАТЕГІЙ ПРОТИДІЇ COVID-19	53
3.1 Аналіз розвитку епідемії COVID-19	53
3.2 Моделювання розвитку COVID-19 з використанням різних умов протікання захворювання	56
3.3 Оптимізація задачі вибору стратегії протидії епідемії COVID-19	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТКИ	80

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Надзвичайна ситуація у сфері охорони здоров'я – це несподівана надзвичайна подія в суспільстві, яка завдає великої шкоди всім аспектам суспільного життя. Різні види суспільних надзвичайних ситуацій

НУБІП України

характеризуються невизначеністю, складністю, розповсюдженістю та міжсферністю [1]. Серед них найбільш типовим є епідемії серйозних інфекційних захворювань. Вони серйозно загрожують життю і здоров'ю

людини та серйозно впливають на розвиток соціальної економіки. Згідно зі

НУБІП України

статистичним звітом про COVID-19 у реальному часі Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) від 1 серпня 2022 року, було виявлено, що загальні глобальні цифри становлять 625,2 мільйона випадків і

понад 6,6 мільйона випадків смерті з початку пандемії. Відповідно до

характеристик важкого гострого респіраторного синдрому Коронавірус 2

НУБІП України

(SARS-CoV-2) є великим викликом для служб з надзвичайних ситуацій, а також висуває підвищені вимоги до покращення здатності та рівня реагування на надзвичайні ситуації у сфері громадського здоров'я [25; 26].

Порівняно із середньою смертністю (смерть на 100 000 населення) від

НУБІП України

грипу, середня смертність від Covid-19 значно вища (2,0 для грипу проти 62,5 для Covid-19, наприклад, у США). Це разом із високою інфекційністю вірусу SARS-CoV-2 призвело до національних обмежень громадського життя, щоб

запобігти перевантаженню системи охорони здоров'я. Але з іншого боку, ці

обмеження мали суттєві наслідки як в економічному плані, так і в соціальному плані, а також а плані ментального здоров'я.

НУБІП України

Тому зусилля світової спільноти також були зосереджені на виробленні колективного імунітету. Колективний імунітет може формуватися в

результаті перенесених інфекцій, попередньої масової вакцинації населення

НУБІП України

та/ або вакцинації групи ризику вже в ході епідемії. Внаслідок формування колективного імунітету знижується швидкість передачі інфекції, що призводить до зменшення загальної кількості інфікованих та хворих. Але в

той же час кількість вакцин є обмеженою, частина людей боїться вакцинації, що також обмежує масову вакцинацію.

Тому задача обчислення того, яка комбінація контрзаходів створює оптимальний компроміс між суперечливими цілями є задачею актуальною.

Метою дипломної роботи є визначення оптимального набору протиепідемічних заходів на основі їх впливу на процес поширення коронавірусної хвороби.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати наступні задачі:

- дослідити особливості процесу розповсюдження епідемій та її вплив на суспільство;

- проаналізувати методи, що використовуються при аналізі епідеміологічної ситуації;

- проаналізувати основні методи, що застосовуються для прогнозування розповсюдження захворюваності на COVID-19;

- дослідити процеси розповсюдження захворюваності на COVID-19 під впливом різних факторів;

- розробити рекомендації щодо застосування протиепідемічних заходів.

Об'єкт дослідження – процес розповсюдження коронавірусу COVID-19.

Предмет дослідження – математичні моделі динаміки процесу поширення коронавірусу COVID-19 під впливом різних факторів.

Методи дослідження – системний аналіз, методи математичної динаміки, обчислювальні методи рішення диференціальних рівнянь, методи прийняття рішень.

Структура роботи. Магістерська робота викладена на 80 сторінках комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці, 22 рисунки. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 48 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ЕПІДЕМІЙ В СУЧАСНОМУ СВІТІ

НУВБІП України

1.1 Поняття соціальної цінності здоров'я населення

Здоров'я належить до однієї з основних людських цінностей. Як наукова категорія здоров'я є об'єктом дослідження цілого ряду наукових галузей. В рамках біомедичного підходу здоров'я розглядається як

нормальне функціонування систем органів та організму загалом. З позиції соціології, медицини здоров'я досліджується в контекст впливу на нього соціальних та демографічних факторів. У психології здоров'я розглядається як вища психічна функція, формування якого безпосередньо пов'язане з розвитком самосвідомості людини [9; 12; 16].

Відповідно до визначення Всесвітньої організації охорони здоров'я, даного в Преамбулі до Статуту ВООЗ, прийнятого в 1948 році, здоров'я є станом повного фізичного, душевного та соціального благополуччя. Поряд з цим здоров'я є одним з ключових індикаторів при оцінці якості життя [18].

Слід зазначити, що у сучасних підходах здоров'я розуміється як динамічний процес, зумовлений особливостями взаємодії індивіда з довкіллям: як соціальним, так і природним [1; 7; 8].

Здоров'я індивіда є динамічний стан чи процес розвитку біологічних, фізіологічних і психічних функцій оптимальної працездатності та соціальної активності за максимальної тривалості життя. Здоров'я людини можна розглядати як характеристику соціально-демографічну, що відображає здатність членів суспільства повноцінно та ефективно виконувати функції щодо подальшого її розвитку та створення умов життя, що забезпечують збереження та розвиток цієї здатності [1; 7; 8; 9].

Здоров'я має бути природним станом організму, що характеризується його врівноваженістю з навколишнім середовищем та відсутністю будь-яких хворобливих змін. Здоров'я дедалі частіше стало усвідомлюватися не тільки

на рівні умов життя індивіда, а й власного соціального буття (буття Соціуму).

Здоров'я стає особливою проблемою людини, її майбутнього як носія соціального, "зберігача" людського. Соціальна цінність здоров'я пов'язана з тим, що людина залежить не тільки від природного середовища, а й від суспільної сторони цього середовища. Здоров'я може бути настільки значущою цінністю, що воно може диктувати цілі, наміри та дії як окремих людей, так і соціальних інститутів, аж до суспільства в цілому. Якість цього навколишнього середовища має забезпечувати існування та розвиток людини як біологічної, соціальної, суспільної, творчої та ціннісної істоти [2; 9].

Соціальність здоров'я проявляється принаймні на двох рівнях: на особистісному рівні – як соціальні екзогенні причини, що впливають на можливості людини реалізувати свій потенціал без завдання шкоди; на соціумному рівні – як соціальні ендогенні характеристики життєдіяльності суспільства (етносу, конфесії, професійної групи тощо), що виражають його стани в економічній, політичній, правовій, моральній та інших сферах [2].

Соціальна цінність здоров'я пов'язана з тим, що кількісні та якісні характеристики здоров'я людини визначають її соціальну зрілість і незрілість і дозволяють оцінити гуманність тієї чи іншої системи, тобто визначити міру "людяності" ставлення конкретного суспільства до людини. Усі життєво важливі підсистеми людського організму в здоровому стані функціонують з можливою максимальною інтенсивністю, а загальне поєднання цих функцій підтримується на рівні, оптимальному для збереження цілісності організму, його працездатності, а також швидкою адекватною адаптацією до природного і соціального середовища, що безперервно змінюється [2; 9].

У Стокгольмській декларації Конференції ООН з навколишнього середовища (1972 р.) було зазначено, що з добробуту людини та дотримання її основних прав, включаючи декларація про життя, важливе значення поруч із природною компонентою має громадська компонента (це декларація про медичні послуги, право на трудову діяльність у здорових умовах тощо).

Суспільне здоров'я – це характеристика однієї з найважливіших властивостей суспільства як соціального організму. З таких позицій говорять про суспільне здоров'я, як про багатство суспільства, тобто, фактор, без якого не може створюватися вся сукупність матеріальних та духовних цінностей. Саме тому здоров'я є соціальною цінністю. Однією з сучасних економічних теорій, яку підтримує ВООЗ, є теорія "людського" капіталу. Її прихильники закликають не економити кошти на охорону здоров'я та освіту, оскільки освічені та здорові люди повертають сповна і навіть з надлишком гроші, витрачені на їхнє виховання, освіту та охорону здоров'я, в особистих інтересах та інтересах суспільства.

В класичній школі управління здоров'я включають в десять найважливіших характеристик спеціаліста, оскільки пов'язане з можливостями продуктивної роботи і збереження професійного довголіття.

Один із теоретиків К. Уінслоу в монографії ВООЗ "Ціна здоров'я" (1951) навіть розраховував, що до 20 років "середній американець" отримує кошти на виховання, освіту, медичну допомогу, не віддаючи нічого навколишнім, до 40 років він своєю працею повертає сім'ї і суспільству ці витрати, і тільки після того приносить "дохід" – "капітал", який буде тим більше, чим довше він житиме і працюватиме; до 60 років він повертає вдвічі більше, ніж було витрачено.

Економісти підраховали, що незалобіжні хвороби, інвалідність та передчасна смертність забирають у суспільства набагато більше коштів на боротьбу з ними, ніж усі витрати на охорону здоров'я.

Проблемами здоров'я людини займається профілактична медицина. Об'єктом гігієнічних досліджень є не здоров'я людини, а зовнішнє середовище. Гігієна вивчає вплив факторів середовища на організм людини та розробляє заходи щодо їх нормування та оздоровлення умов життя та праці. Значна роль в оздоровленні суспільства відводиться профілактиці – системі заходів (колективних та індивідуальних), спрямованих на

попередження або усунення причин, що викликають захворювання, які різняться за своєю природою.

1.2 Загроза епідемій в сучасному світі: причини, масштаби та наслідки

Спалахи нових інфекційних хвороб відбуваються із зростаючою частотою. Потенційно вони можуть здійснювати довгостроковий вплив на популяції людей та диких тварин, впливаючи як на природні, так і на антропогенні екосистеми.

Поява нових і відомих патогенів пов'язана з безліччю причин, більшість з яких викликано зростаючим антропогенним впливом на природу. Інтенсифікація процесу появи патогенів може бути пов'язана зі змінами клімату, скороченням та втратою біорізноманіття, деградацією довкілля та збільшенням числа контактів між дикою природою та людиною. Значну роль відіграє синергізм таких явищ, як бідність і зростання населення Землі.

Будь-який спалах емерджентної хвороби при сприятливому поєднанні факторів має всі шанси стати транскордонною та перерости в пандемію з охопленням значної частки сприйнятливих популяцій нашої планети – людей та тварин.

Транскордонні інфекційні хвороби виникали у різні історичні періоди. Однак лише наприкінці ХХ століття ця проблема перестала бути виключно медичною або біологічною, а стала також викликом для економіки та соціальної безпеки. Ця тенденція пов'язана, з одного боку, з поширенням інфекцій з низьким летальним потенціалом, а з іншого – з прогресом у галузі біологічних досліджень, результати яких можуть бути використані як біологічна зброя та засоби біотероризму.

Нові і вже існуючі інфекційні хвороби загрожують людям з часів неолітичної революції, що сталася близько 12 тисяч років тому. Саме після масового переходу до сільськогосподарських громад масштаби поширення

таких хвороб різко зросли. Торгівля, яка почала розвиватися, сприяла більш інтенсивним контактам людей як з іншими людьми, так і з тваринами, що підвищило епідемічні та епізоотичні ризики. Вже цьому етапі виникли такі хвороби з високим потенціалом, як віспа, малярія, кір та бубонна чума.

Юстиніанова чума (541 р. н. е.) та "Чорна смерть" (1348 р.) призвели до загибелі мільйонів людей в Азії, на Близькому Сході та в Європі.

Чим більше набрав сили науково-технічний прогрес, що супроводжувався розвитком великих міст, тим активніше розвивалися торгові маршрути та тим інтенсивнішими ставали контакти між різними популяціями людей в умовах різноманітних екосистем. Це неминуче призводило до виникнення транскордонних інфекцій із вираженим пандемічним потенціалом.

Епідемія – це масове поширення інфекційної хвороби людей, що значно перевищує зазвичай реєстрований на даній території рівень захворюваності. Епідемія, як надзвичайна ситуація, має осередок зараження і перебування хворих на інфекційну хворобу людей, або територією, в межах якої в певних межах часу можливе зараження людей і сільськогосподарських тварин збудниками інфекційної хвороби.

В основі обумовленої соціальними та біологічними факторами епідемії лежить епідемічний процес, тобто безперервний процес передачі збудника інфекції та безперервний ланцюг взаємопов'язаних інфекційних станів, які послідовно розвиваються (захворювання, бактеріоносійство).

Іноді поширення захворювання носить характер пандемії, тобто охоплює території кількох країн чи континентів за певних природних чи соціально-гігієнічних умов. Порівняно високий рівень захворюваності може реєструватися у певній місцевості тривалий період. На виникнення та перебіг епідемії впливають як процеси, що протікають у природних умовах (природна осередковість, епізоотії тощо), так і, головним чином, соціальні чинники (комунальний благоустрій, побутові умови, стан охорони здоров'я тощо).

Залежно від характеру захворювання основними шляхами поширення інфекції під час епідемії можуть бути:

- водний та харчовий, наприклад, при дизентерії та черевному тифі;

- повітряно-краплинний (при грипі);

- трансмісивний - при малярії та висипному тифі;

Найчастіше відіграють роль декілька шляхів передачі збудника інфекції.

Епідемії – одне з найбільш згубних для людини небезпечних природних явищ. Статистика свідчить про те, що інфекційні захворювання забрали більше людських життів, ніж війни. Хроніки та літописи донесли до наших часів опис жахливих пандемій, що спустошили величезні території та знищили мільйони людей.

Пандемія грипу 1918 р. забрала життя 50 млн осіб, що, мабуть, стало найбільш смертоносним із ретельно задокументованих подій в історії людства

Пандемія ВІЛ/СНІД, існування якої було визнано у 1981 р., забрала життя не менше 37 млн осіб. В останнє десятиліття ми стали свідками безпрецедентних пандемічних вибухів спалахів "свинячого" грипу H1N1 (2009 р.), Чікунгуньї (2014 р.) та Зіки (2015 р.), а також великих спалахів лихоманки Ебола на більшій частині території Африки (з 2014 р.), пандемія COVID-19 (з 2019 р.) [19; 28; 31].

Здатність інфекційних хвороб долати великі відстані не є рідкісним явищем і має багатовікову історію. Але сьогодні, коли глобальні транспортні мережі забезпечують швидкість переміщень людей, тварин і товарів по всьому світу, склалися особливо сприятливі умови для виникнення нових хвороб з транскордонним та пандемічним потенціалом.

Ключовими факторами виникнення та подолання збудником хвороби популяційних та видових кордонів є його молекулярно-генетична структура, джерело хвороби, сприйнятлива популяція, а в багатьох випадках і наявність

вектору хвороби (організм, який не викликає хвороби сам по собі, але здатний передавати збудників інфекційних чи паразитарних захворювань від джерела до сприйнятливого організму). Все це, проте, ще не гарантує подолання інфекцією державних кордонів. Тому при розгляді розвитку інфекційної хвороби крізь призму потенційної пандемії необхідне не тільки розуміння основних епідеміологічних аспектів даної хвороби, але й аналіз вкрай різноманітної та мінливої матриці політичних, економічних та культурних факторів, що впливають на поширення хвороб у транскордонних масштабах.

За останні два десятиліття, з точки зору таксономії, транскордонні хвороби в 10–49% випадків були викликані бактеріями або рикетсіями, що свідчить про велику кількість стійких до ліків мікробів. Вірусні патогени виявлялися у 25–44% випадків нових спалахів інфекційних хвороб Великі спалахи емерджентних (раптових, надзвичайних) хвороб у 11–25% випадків були викликані найпростішими, у 7–9% випадків – грибами та у 3–6% випадків – гельмінтами. Однак більшість відомих пандемій та великих епідемій останнього часу було викликано вірусами.

Антропогенний вплив сприяє широкому поширенню патогенів за межі еволюційно сформованого ареалу. Це відбувається за причини зміни поведінки тварин, викликані, як правило, негативною зміною середовища проживання. В результаті відбувається інфікування людини. При цьому чим більше людей контактує з патогеном, тим більш ймовірно, що останній до них адаптується, що призведе до передачі інфекції від людини до людини.

Питання географічного розподілу пандемій вирішується дуже просто: пандемії, як випливає з їхньої назви, охоплюють більшу частину країн світу. Географія транскордонних (особливо емерджентних) інфекційних хвороб визначається біологічними та соціально-економічними факторами. У зв'язку з тим, що широтний просторовий градієнт різноманітності видів патогенних мікроорганізмів людини та тварин збільшується в міру наближення до екватору, можна припустити, що параметри навколишнього середовища, які

сприяють передачі патогенів в екваторіальних широтах (наприклад, більш високі температури та опади), є рушійною силою виникнення та розвитку транскордонних хвороб. Однак більшість джерел великих епідемій сконцентровано між 30 і 60 градусами північної широти та між 30 та 40 градусами південної широти з основними гарячими точками на північному сході США, у Західній Європі, Японії та Південно-Східній Азії. Отже, основними детермінантами просторового розподілу транскордонних інфекцій є все ж таки національні та регіональні соціально-економічні фактори (щільність населення, транспортні зв'язки, використання антибіотиків, агрокультура тощо). Щільність населення є загальним фактором ризику для транскордонних інфекцій будь-якого походження. Поява хвороб значною мірою є продуктом антропогенних та демографічних змін, своєрідною прихованою "ціною" соціально-економічного прогресу.

Поряд з високою щільністю населення особливо важливе значення має міжнародна торгівля, яка вважається головною загрозою біорізноманіттю у дикій природі.

Епідемії та пандемії мають серйозні наслідки в різних сферах людського життя.

Прямі медичні наслідки пандемій можуть бути катастрофічними. Під час епідемії бубонної чуми у 1347–1351 роках загинуло від 30 до 50% населення Європи. Пандемія ВІЛ-інфекції з 1981 р. забрала життя понад 35 мільйонів людей. Пандемії здатні диспропорційно вражати різні групи населення, в т. ч. і молодші та економічно активні.

Багато інфекційних хвороб можуть мати хронічні наслідки, які в у разі епідемії набувають масового поширення. Наприклад, пов'язана з вірусом Зіка мікроцефалія викликає серйозні ускладнення на все життя.

У 2003 р. атипова пневмонія (далі – SARS), ставши першим важким захворюванням ХХІ століття, підтвердила побоювання, породжені ще загрозою біологічного тероризму, щодо того, що активність нового або

невідомого патогена може мати далекосяжні наслідки для безпеки громадської охорони здоров'я на національному та міжнародному рівнях.

Приклад SARS ілюструє властивості, що надають міжнародного значення хворобі як загрози безпеці: хвороба передавалася від людини людині, не потребувала переносника збудника, не була прив'язана до будь-якого географічного регіону, її інкубаційний період тривав понад тиждень, вона імітувала симптоми багатьох інших хвороб, завдала найбільших збитків лікарняному персоналу та забрала життя 10% інфікованих осіб. Ці особливості означали, що хвороба легко поширюється маршрутами міжнародних повітряних перевезень, наражаючи на ризик завести інфекцію в будь-яке місто з міжнародним аеропортом.

Непрямі медичні наслідки пандемій можуть бути причиною подальшого підвищення рівня захворюваності та смертності. Такі наслідки посилюються перерозподілом чи виснаженням ресурсів, призначених для надання загальної медичної допомоги, а також обмеженням доступу до неї внаслідок неможливості переміщатися на транспорті, страху та інших факторів. Страх перед хворобою також може бути причиною надмірного числа необґрунтованих звернень за медичною допомогою, які створюють додаткове навантаження на систему охорони здоров'я.

Під час епідемії Еболи у Східній Африці у 2014 р. установи охорони здоров'я закривалися через брак медичного персоналу та страхів з приводу контакту з хворобою, що призвело до значних труднощів у отриманні загальної медичної допомоги, а найчастіше і до її недоступності.

Нестача загальної медичної допомоги при малярії, ВІЛ/СНІДі та туберкульозі стала, за деякими оцінками, причиною смерті 10600 осіб у Гвінеї, Ліберії та Сьєрра-Леоне. Ця цифра порівнянна з 11300 летальними випадками, безпосередньо викликаними лихоманкою Ебола у згаданих країнах. Спостереження за 45 закладами охорони здоров'я у Гвінеї під час пандемії Еболи виявили, що амбулаторних звернень жінок та дітей за рутинною медичною допомогою стало на 31% менше. Крім того,

перерозподіл коштів, медичних ресурсів та персоналу призвели до зниження на 30% рівня загальної дитячої імунізації у постраждалих країнах.

Під час пандемії свинячого грипу 2009 р. зайнятість лікарняних ліжок, в основному, пацієнтами з грипом та пневмонією зв'язувалася зі статистично значним зростанням смертності від гострого інфаркту міокарда та інсульту.

Необхідно зауважити, що в умовах пандемії часто дуже важко достовірно відокремити ті випадки смертності, причиною якої стала власне пандемія, від випадків смерті інших захворювань.

У разі пандемій чисельність працівників охорони здоров'я помітно знижується внаслідок захворюваності, смертності та ухилення від роботи через побоювань захворіти. Вірусні геморагічні лихоманки типу Еболи можуть серйозно зашкодити тим медикам, робота яких потребує частого контакту з інфікованим матеріалом. Так, під час першого спалаху Еболи в Заїрі у 1976 р. госпіталь Ямбуку закритися через те, що 11 з 17 працюючих в ньому представників медичного персоналу померли від цієї хвороби. При спалаху Еболи в тій же країні в 1995 р. в Кіквіті 24% хворих виявилися медиками. Під час спалаху 2014 р. у Західній Африці смертність від Еболи серед медичного персоналу становила 8% у Ліберії; 7% у Сьєрра-Леоні та 1% у Гвінеї.

Якщо працівники охорони здоров'я не гинуть, їхня працездатність у багатьох випадках значно знижується. На піку пандемічного спалаху грипу до 40% медпрацівників можуть не вийти на роботу через те, що хворіють самі, доглядають за хворими членами сім'ї або змушені сидіти з дітьми через закриття шкіл або побоювання заразитися.

Епідемії та пандемії можуть мати серйозні соціальні та політичні наслідки, послаблюючи держави, провокуючи зовнішньо- та внутрішньополітичні протиріччя, посилюючи соціальну напруженість та дискримінацію. Пандемії минулого ставали причиною серйозних соціальних та політичних погрясінь, зумовлених шоковими наслідками масової смертності та викликаних нею демографічних зрушень. Зокрема смертність

від завезених на американський континент віспи та інших хвороб стала безпосередньою причиною краху багатьох корінних товариств, послабивши їх інститути та військовий потенціал до такого рівня, при якому вони виявилися вразливими перед європейськими завойовниками. Наступні пандемії не мали настільки драматичних наслідків, головним чином, через появу більш досконалих засобів та методів профілактики та лікування інфекційних хвороб.

Як показує досвід, епідемії та пандемії можуть сприяти посиленню політичних тертя і провокувати заворушення. Особливо гострими ці проблеми можуть виявитися для держав із нестабільними політичними системами, в яких нещодавно мало місце насильство або продовжуються збройні конфлікти.

Під час пандемії Еболи в 2014 р. такі заходи попередження поширення хвороби, як введення карантину та комендантської години, оцінювалися деякими представниками громадськості та опозиційними силами в Ліберії вкрай підозріло, що неодноразово виливалося в запеклі зіткнення із силами безпеки. Латентні політичні тертя між угрупованнями, що раніше воювали в Ліберії, знову нагадали про себе на ранньому періоді епідемії, виявившись у погрозах на адресу медичних працівників, нападах на них та на заклади охорони здоров'я.

У свою чергу, влада звинувачувала представників опозиції у саботажі заходів щодо боротьби з хворобою. Хоча тертя не привели до масштабних безладів і насильства, вони суттєво ускладнили проведення заходів щодо боротьби з пандемією. У Сьєрра-Леоні, наприклад, довелося відкласти введення карантину в підконтрольних опозиції районах через побоювання спровокувати різко негативну політичну реакцію з боку опонентів влади.²⁶

Ситуація з пандемією COVID-19 також дає безліч прикладів використання фактора коронавірусної інфекції як у внутрішньо-, так і у зовнішньополітичних інтересах: можна згадати, наприклад, резонансне рішення Д. Трампа про вихід США із ВОЗ.

Спалахи масових захворювань мають як прямі, так і непрямі соціальні наслідки. Поширення паніки серед населення здатне викликати його масову міграцію. Так, спалах чуми у м. Сураті (Індія) у 1994 р., незважаючи на відносно малу кількість підтверджених випадків, спонукала залишити свої будинки близько 500 тисяч осіб (приблизно 20% населення міста). При цьому мігранти опиняються в ситуації підвищених ризиків через антисанітарні умови проживання, погане харчування та інші фактори, здатні спровокувати подальше поширення хвороби.

Нарешті, спалахи масових захворювань можуть стати приводом для стигматизації вразливих соціальних груп (наприклад, етнічних меншин), які звинувачуються у появі та поширенні хвороби. Така стигматизація спостерігалася під час спалаху бубонної чуми в Європі щодо єврейських громад, коли їхні представники зазнавали гонінь та насильства. Сучасні епідемії провокують тонші форми дискримінації: наприклад, уникнення спілкування та контактів із представниками етнічних меншин, що асоціюються з осередками виникнення інфекції. Так, вихідці з Африки, які знаходилися в Гонконгу, скаржилися на соціальну ізоляцію та економічні труднощі, що стали результатом їх ототожнення з епідемією Еболи.

Пандемії, як правило, або викликають гострий, короткочасний фінансовий шок, або завдають довгострокових збитків економічному розвитку.

Первинні заходи щодо стримування чи обмеження поширення захворювання (відстеження контактів, введення карантину, ізоляція хворих тощо) вимагають значних людських ресурсів та фінансових витрат.

У міру поширення епідемії виникає потреба будівництва додаткових лікувальних закладів для лікування інфікованих, що, разом з потребою в різних витратних матеріалах (тестах, персональному захисному приладді, ліках тощо), веде до значних додаткових витрат на охорону здоров'я.

Зниження податкових надходжень до бюджету, особливо у бідних країнах, може посилити фінансовий стрес, спричинений збільшенням витрат.

Прямі фінансові втрати від пандемій зазвичай невеликі, порівняно з непрямыми збитками для економічного розвитку внаслідок скорочення робочої сили внаслідок захворюваності, смертності та, побічно, зміни поведінки населення через страх перед хворобою.

Страх є одним з ключових мотивів поведінки за пандемії. Він змушує скорочувати робочі місця, переривати транспортне сполучення, закривати кордони між країнами та обмежувати переміщення людей, а також руйнує цілі галузі, особливо туризм, торгівлю та транспорт.

Найкраще в цьому плані вивчено найвідомішу епідемію, з якою порівнюють усі сучасні, а саме епідемію "іспанського грипу" ("Іспанка"). Ця епідемія розпочалася останніми місяцями Першої світової війни. У 1918–1919 роках протягом 18 місяців у світі від цієї епідемії померло за різними даними, 50–90 млн осіб, або 2,7–5,3% населення Землі. Було заражено близько 500 млн. осіб, або 21,5% населення планети. Експерти підрахували, що у 1919–1921 роках "іспанка" коштувала Австралії 3% ВВП, Великій Британії – 17%, Канаді – 15%, а США – 11% ВВП. За деякими оцінками, збитки від порівнянної за масштабами епідемії коштували б зараз світові економіці в три трильйони доларів.

Від SARS у 2002–2003 роках померло понад 900 осіб, переважно у материковому Китаї (348 смертей) та Гонконгу (298 смертей). Усього було зареєстровано 8436 випадків інфікування у 30 країнах світу, а смертельні результати були також зафіксовані в Сінгапурі, Канаді, Тайвані, В'єтнамі, Малайзії, Таїланді та на Філіппінах. Хоча економічні наслідки цієї пандемії і не були катастрофічними, проте вони торкнулися певних секторів економіки.

Одним із найбільш постраждалих виявився транспортний сектор, в першу чергу, пасажирські авіап перевезення: так, пасажиропотік Гонконгу впав на 65%, порівняно з аналогічним показником попереднього року. З березня по квітень 2003 р. загальна кількість пасажирів, що прибувають в регіон знизилася з 1347386 до 493666 осіб, а щоденний пасажиропотік – з приблизно 27500 до менше 5000 осіб до кінця квітня 2003 р. Такі компанії, як

"Cathay Pacific", були змушені скасувати понад 45 своїх регулярних рейсів, при цьому кількість перевезених пасажирів впала на 80% з 1 млн. до 200 тисяч, що призвело до зниження доходів авіакомпанії з 15,3 млн. до трохи більше півмільйона доларів США, тобто на більш ніж 70%.

Загальні збитки від SARS для постраждалих від епідемії країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону опинилися в діапазоні 0,5-1% ВВП. При цьому прямі збитки для азіатських країн оцінюються у 12-18 млрд. доларів, а непрямі збитки для світової економіки – у 30-100 млрд. доларів.

Паніка навколо "пташиного грипу" H5N1 почалася 2003 р., коли споради про атипову пневмонію були ще свіжими. Цей вірус має дуже високу летальність (близько 50%), але майже не передається від людини до людини; для зараження потрібно дуже тісно контактувати з інфікованими птахами. За даними ВООЗ, станом на 30 жовтня 2009 р. у 2003-2009 роках від "пташиного грипу" померли 262 особи з 16 країн світу. Економічні збитки від пташиного грипу, що вимірюються мільярдами доларів, виявились порівнянним зі збитками від SARS, але були пов'язані, головним чином, із загибеллю поголів'я свійської птиці. Для порівняння, лише епідемія пташиного грипу іншого штаму (H7N9) у 2013 р. завдала китайським виробникам птиці збитків у 6,6 млрд. доларів.

Ще одним штамом грипу, здатним в результаті мутацій перекинутися з тварини на людину і викликав ряд епідемій, став "свинячий грип". Спалахи цього грипу виникали у 1976, 1988 та 2007 роках. У 2009 р. Всесвітня організація охорони здоров'я та Центр з контролю та профілактики захворювань США висловили серйозне занепокоєння через поширення цього виду грипу після того, як хвороба призвела до високої смертності у Мексиці. Рівень пандемічної загрози тоді було піднято з чотирьох до п'яти балів із шести можливих. До серпня 2009 р. по всьому світу було зареєстровано більше 182 тисяч випадків зараження та 1799 випадків смертей у 177 країнах. Вірус поширився по всьому світу, і 11 червня 2009 р. ВООЗ оголосила про першу пандемію за останні 40 років – пандемії свинячого грипу. Сума

збитків від пандемії могла досягати 55 млрд. доларів США, а найбільше постраждалими галузями виявилися тваринництво, туризм, транспорт та фінансовий сектор.

Слідом за різними мутованими версіями грипу прийшла лихоманка Ебола. Якщо азіатські епідемії небезпечні внаслідок високої інтеграції Східної Азії у світову економіку та транспортну мережу, то в цілому до епідемій найбільш схильна Африка з її бідністю, соціальними проблемами і масовим переміщенням населення, у т. ч. через громадянські війни. Спалах лихоманки Ебола у 2013–2016 роках залишається найбільшою епідемією цієї

хвороби в історії. За оцінкою Світового банку, прямі збитки від епідемії для трьох найбільш постраждалих країн – Гвінеї, Ліберії та Сьєрра-Леоне склали 2,2 млрд. доларів, однак загальні збитки з урахуванням зростання безробіття, вартості соціальних програм та збитків для здоров'я населення оцінюється в 53 млрд. доларів.

Пандемія Еболи, розпочавшись у грудні 2013 р., тривала два з половиною роки. Було інфіковано 28652 особи, 11325 з яких померли. Близько 99% всіх випадків захворювання були зареєстровані у трьох африканських країнах – Гвінеї, Ліберії та Сьєрра-Леоне.²² Сумарні економічні збитки цим країнам становив 2,2 млрд. доларів. Пандемія завдала шкоди не тільки промисловості, транспорту та туризму, а й іншим секторам.

Міжнародні медико-санітарні правила у редакції 2005 р. є найважливішим правовим інструментом забезпечення глобальної безпеки в галузі охорони здоров'я. Йдеться про питання профілактики, виявлення та оцінки викликів та, у разі потреби, узгодженого реагування на ті події, які можуть вилитися у надзвичайну ситуацію міжнародного масштабу. Як зазначається у статті 12 Міжнародного пакту про економічні, соціальні та культурні права 1966 р., держави зобов'язуються вживати всіх необхідних заходів для забезпечення здоров'я своїх громадян, що дозволить здійснити "попередження та лікування епідемічних, ендемічних, професійних та інших хвороб та боротьби з ними". Згідно з коментарем Комітету ООН з

економічних, соціальних та культурних прав, "держави несуть індивідуальну та спільну відповідальність у тому, щоб здійснювати взаємодію у разі лих та забезпечувати гуманітарну допомогу в надзвичайних ситуаціях... З огляду на те, що деякі захворювання легко перетинають кордони держав, міжнародне співтовариство несе колективну відповідальність з цього питання". Комітет особливо наголосив, що "економічно розвинені держави несуть особливу відповідальність за те, щоб допомагати державам, що розвиваються, в цьому відношенні".

У зв'язку з цим актуалізується питання про відповідальність держав та міжнародних організацій у контексті поширення епідемій, пандемій та масових захворювань. Найбільш активні спроби вироблення єдиного міжнародно-правового підходу до цієї проблеми були здійснені практично одночасно з закінченням роботи Комісії міжнародного права ООН над проектами статей про міжнародної відповідальності. Спалах SARS у Південно-Східній Азії у 2003 р. став одним із перших приводів задуматися про пов'язані з масовими захворюваннями проблем як про загрози міжнародній та регіональній безпеці. Важливим юридичним питанням є використання дій або бездіяльності окремих держав як можлива підстава для міжнародної відповідальності.

Очевидно, що перспективи притягнення держави до відповідальності за поширення епідемії через звернення до органу міжнародного правосуддя (наприклад, до Міжнародного Суду ООН) дуже туманні. Прийнятними варіантами встановлення міжнародної відповідальності даному випадку можна вважати багатосторонню комісію, що складається з представників найбільш постраждалих країн.

Найбільш проблемним моментом є визначення конкретних форм міжнародної відповідальності. І для держав, і для міжнародних організацій таких форм існує три: компенсація, реституція та сатисфакція.

Однак оскільки держава, винна у дії чи бездіяльності, привела до поширення масового захворювання за межі національних кордонів, є не лише

потенційним відповідачем, а й одночасно постражданою стороною, встановлення конкретних форм відповідальності, особливо матеріального характеру, що суттєво ускладнюється.

Осередок поширення захворювань автоматично стає своєрідною "зоною відчуження", оскільки на переміщення людей та товарів накладаються суттєві обмеження, що відчутно позначається на інвестиційній та туристичній привабливості відповідної держави. Фактично, можна розраховувати на встановлення відповідальності з боку винної держави лише в такій формі, як сатисфакція, яка може виражатися у виразі жалю та гарантії неповторення.

Очевидно, що станом на сьогодні залучення держави до відповідальності за поширення масових захворювань практично неможливо – у практичному сенсі мова може йти лише про добровільну виплату компенсацій *ex gratia*.

1.3. Особливості епідемії COVID-19

Коронавіруси вперше були описані Тіреллом і Байно в 1966 році, які виділили віруси від пацієнтів, які страждають на звичайну застуду. У людей було виявлено шість типів коронавірусу (HCoV), включаючи HCoV-NL63, HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-НКУ1, SARS-CoV, і MERS-CoV. Перші два належать до роду Alphacoronavirus, а останні чотири – до роду Betacoronavirus. SARS-CoV і MERS-CoV можуть викликати важкий респіраторний синдром у людей, тоді як інші чотири коронавіруси людини викликають лише легкі захворювання верхніх дихальних шляхів у імунокомпетентних господарів. Коронавіруси не привертали уваги в усьому світі до епідемії SARS у 2003 році, за якою в 2012 році відбувся спалах MERS і, зовсім недавно, пандемія нового коронавірусу [29].

Встановлено, що SARS-CoV-2 є позитивним одноланцюговим РНК-вірусом, що належить до лінії Бетакоронавірусу. Він тісно пов'язаний з вірусом SARS-CoV.

Найпоширеніші симптоми COVID-19 включають в себе лихоманку, сухий кашель, втому, рідше біль у горлі, діарею, головний біль, кон'юнктивіт, втрату смаку або запаху, висипи на шкірі або знебарвлення пальців рук або ніг. При ускладненнях інфекція, викликана вірусом SARS-CoV-2, може спричинити дихальну недостатність, септичний шок, відмову органів і навіть смерть.

Джерелами інфекції коронавірусу є хворі, вірусоносії та інфіковані тварини, які є резервуарами вірусу. Пошук господарів вірусу або джерел інфекції є життєво важливим процесом для розуміння динаміки вірусу.

SARS-CoV-2 має 96,2% схожості генетичної послідовності з раніше ідентифікованим BatCoV RaTG13, що свідчить про те, що кажани, швидше за все, є хазяїном SARS-CoV-2. Кластер випадків на ринку морепродуктів був всебічно проаналізований, і порівняння послідовностей показало, що панголіни є найбільш вірогідним проміжним господарем SARS-CoV-2 [30].

Наразі пацієнти, інфіковані SARS-CoV-2, є основним джерелом інфекції, продукуючи велику кількість вірусу у верхніх дихальних шляхів протягом інкубаційного періоду. Через легкі клінічні симптоми протягом інкубаційного періоду пацієнти можуть залишатися рухливими та виконувати рутинні дії, що призводить до поширення інфекції. Безсимптомні носії також можуть бути джерелом інфекції. Інкубаційний період захворювання становить 1–14 днів, зазвичай 3–7 днів і може досягати навіть 24 днів, що ускладнює скринінг інфекцій. Крім того, захворювання в основному поширюється повітряно-крапельним шляхом і контактним шляхом. Інфікування 14 медичних працівників підтвердило високу заразність захворювання та викликало занепокоєння, що деякі люди можуть бути "суперрозповсюджувачами" вірусу. У відносно закритому середовищі також може відбуватися аерозольна передача.

Немає доказів того, що люди з певними характеристиками не сприйнятливі до COVID-19. Наявні дані свідчать про те, що люди будь-якого віку, які мають тісний контакт із хворими, можуть заразитися SARS-CoV-2.

Літнє населення та пацієнти з основними захворюваннями більш сприйнятливі до важких захворювань після інфікування, а діти та немовлята також можуть бути інфіковані SARS-CoV-2.

Незважаючи на те, що всі групи населення сприйнятливі до SARS-CoV-226, особливу увагу та зусилля щодо захисту або зменшення передачі слід приділяти таким уразливим групам, як діти, медичні працівники, вагітні

жінки та люди похилого віку. Станом на 29 січня 2020 року в ході дослідження було отримано дані щодо клінічних симптомів і наслідків для 1099 пацієнтів з COVID-19, які були госпіталізовані в 552 місцях. Їхній середній вік становив 47 років. SARS-CoV-2 спричиняє важкі захворювання

та смерть насамперед у людей похилого віку, особливо тих, хто має такі захворювання, як діабет і серцеві захворювання, можливо, через ослаблену імунну систему, яка дозволяє швидше прогресування вірусної інфекції. Хоча ймовірність зараження коронавірусом у дітей така ж, як і у дорослих, у них менша ймовірність виникнення серйозних симптомів, що свідчить про те, що

такі заходи, як закриття шкіл, можуть допомогти уповільнити поширення вірусу.

Розуміння трансмісивності SARS-CoV-2 залишається вирішальним для прогнозування перебігу епідемії та ймовірності тривалої передачі.

Зазвичай використовуваним показником інфекційності є базове число відтворення (R_0), яке є середньою кількістю інфікованих людей, які передають вірус іншим без стороннього втручання. Іншими словами, значення еквівалентно скількох людей може заразити середній пацієнт. чим більше R_0 , тим сильніший потенціал передачі вірусу. R -значення >1 вказує

на те, що спалах буде самопідтримуваним, якщо не буде вжито ефективних заходів контролю, тоді як R -значення <1 вказує на те, що кількість нових випадків зменшиться з часом і спалах зрештою припиниться.

Порівняно з R_0 H1N1 (1,25) і SARS (2,2–3,6), R_0 у SARS-CoV-2 оцінювався як 2,2 (95% ДІ, 1,4–3,9), 3,1 (95% ДІ, 2,39–4,13) і 2,68 (95% ДІ, 2,47–2,86) різними групами та значно перевищує 1, що вказує на те, що

SARS-CoV-2 має високий потенціал передачі та здатність спричиняти спалахи. Також скоріш за все буде дуже важко стримувати або контролювати поширення цього вірусу без відповідних заходів профілактики та контролю.

Ефективне число відтворення (R_t) кількісно визначає кількість інфекцій, викликаних кожним новим випадком, що виникає в момент часу t . Зазвичай він нижчий, ніж у R_0 , через вплив заходів контролю на зниження передачі та

виснаження чутливих осіб під час епідемії; затухання епідемії гарантується лише там, де R_t підтримується нижче 1,47.

Спалах коронавірусу був визнаний пандемією ВОЗ 11 березня 2020 року. Організація відзначила її як "глобальне поширення нового захворювання" (рис. 1.1).

COVID-19 Reported Countries



Рисунок 1.1 – Епідемія COVID-19 у світі (розповсюдження) [24; 25]

Загальна кількість випадків захворювання на коронавірусну хворобу постійно зростає. Навесні 2022 року відбулось знов значне зростання кількості випадків захворювань, який спостерігається і протягом всього літнього періоду (рис.1.2). Також спостерігається збільшення щоденних

випадків захворювань протягом першого півріччя 2022 року в порівнянні з такими ж періодами 2020 та 2021 років (рис.1.3). Це свідчить про

продовження поширення епідемії коронавірусу та можливі повторні захворювання.

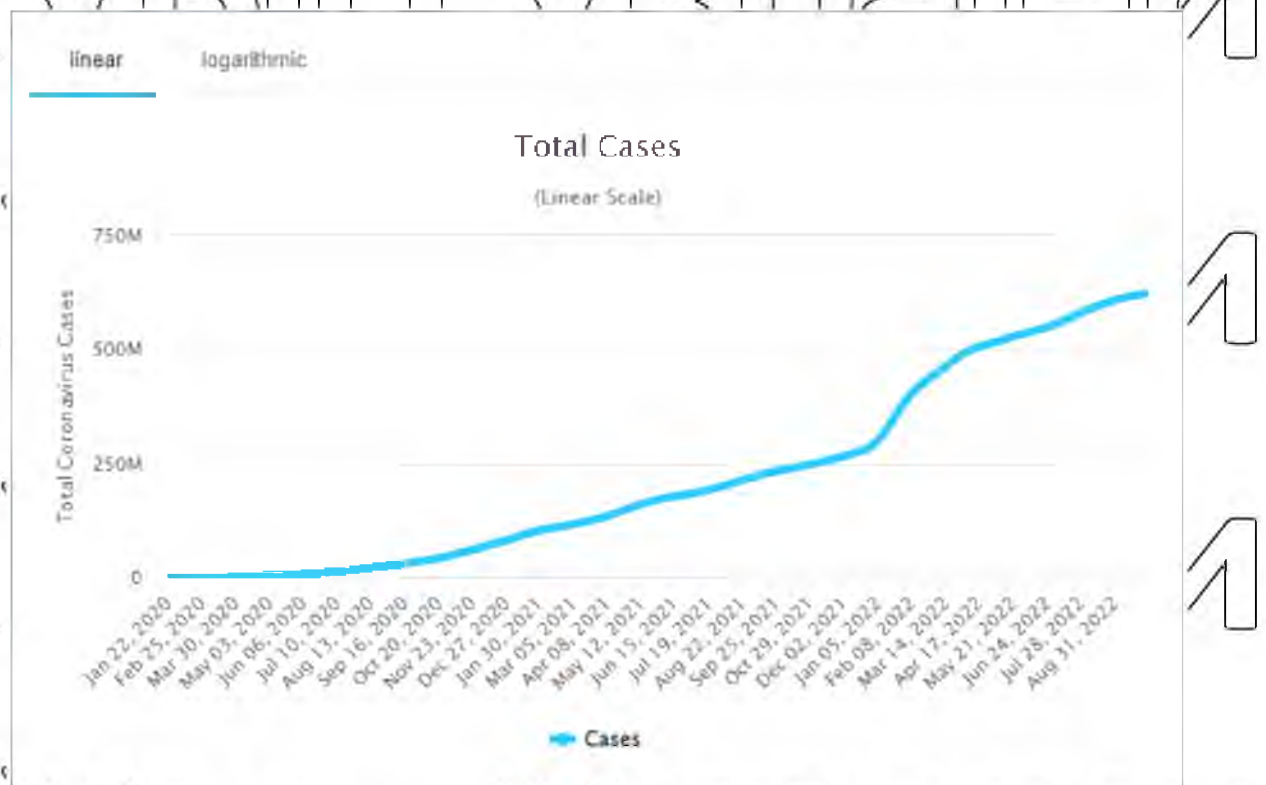


Рисунок 1.2— Загальна кількість випадків захворювання на кінець серпня 2022 р. [24; 25]

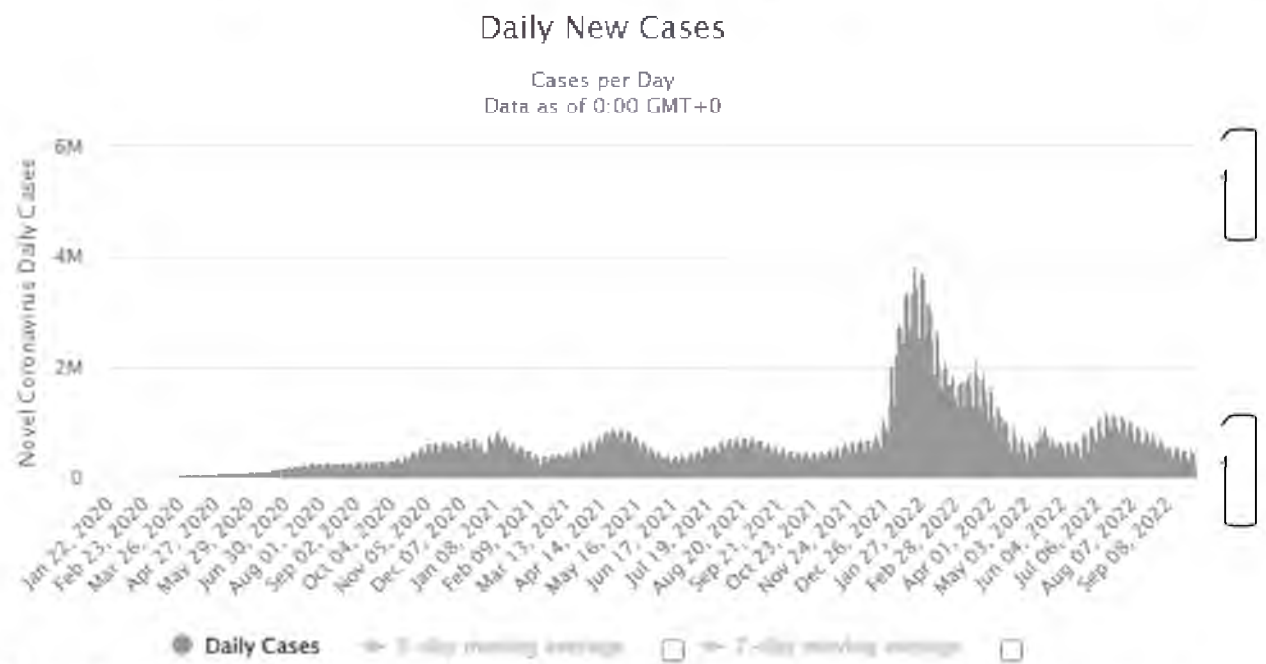


Рисунок 1.3— Щоденна кількість випадків протягом епідемії 2020-2022 рр. [24; 25]

В той же час необхідно відмітити, що кількість серйозних та смертельних випадків поступово знижується, що є свідченням доволі

ефективних методик лікування (рис.1.4). Однак, в будь якому разі спостерігаються доволі значні значення кількості таких випадків.

Смертність від коронавірусної інфекції складає в середньому біля 3%, хоча на початку епідемії вона була досить значною і могла складати до 25%. В той же час зараз смертність становить в середньому 1,1% (рис.1.5).

Аналіз даних щодо розвитку пандемії коронавірусу свідчить, що незважаючи на поступове зменшення кількості серйозних випадків, коронавірусна інфекція залишається викликом для світу.



Рисунок 1.4 – Загальна кількість серйозних та смертельних випадків перебігу коронавірусу [24; 25]

НУБІП України

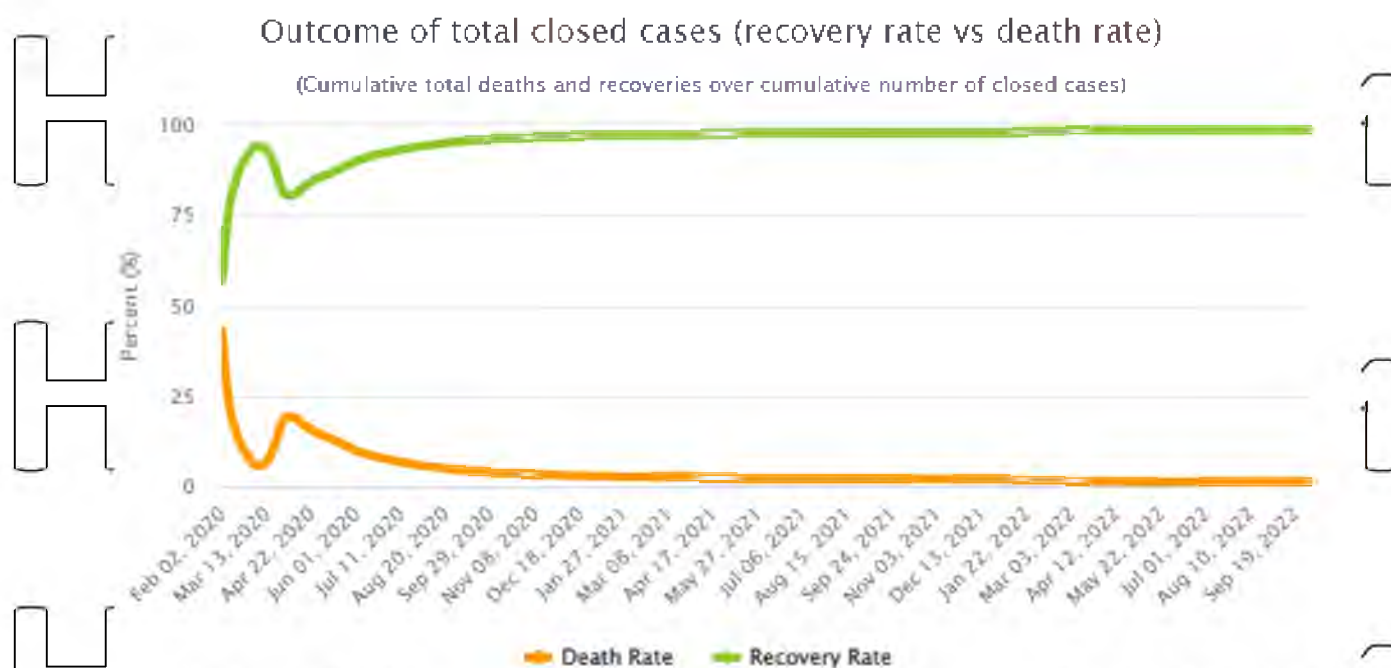


Рисунок 1.5. – Порівняння відсотків випадків одужання та смерті [24; 25]

Пандемія коронавірусної інфекції призвела до значних викликів як в медичному, так і в соціально-економічному плані. Її вплив на економіку відбувається за такими напрямом:

1. Активізація процесів повернення у розвинені країни виробництв, які раніше були перенесені до країн з нижчими витратами виробництва, і, як наслідок, зростання цін на продукцію при зниженні обсягів продажу. Ці процеси почалися раніше, коли світові стала очевидною велика залежність розвинених країн від них аутсорсерів. Закриття на деякий час торгівлі з Китаєм у зв'язку з карантинними заходами зупинило багато виробничих процесів. Таким чином, розподіл виробництва проміжної продукції по всьому світу пов'язана з дуже високими ризиками. По оцінкам Світової організації торгівлі, в результаті пандемії загальне падіння обсягу світової торгівлі склало більше 30% (з 13 до 32% у 2020 р.). Переформатування ланцюгів поставок також призводить до скорочення обсягів виробництва.

2. Розорення багатьох підприємств малого та середнього бізнесу в результаті тимчасової зупинки виробництва та розриву виробничих зв'язків, що склалися.

3. Зниження платоспроможного попиту через падіння реальних наявних доходів населення та зростання безробіття.

4. Зниження обсягу виробничих інвестицій, у тому числі державних, як результат скорочення доходної частини державних бюджетів та збільшення непередбачених витрат на боротьбу з пандемією та її наслідками.

5. Погіршення стану банківського сектора внаслідок необхідності надання кредитних канікул і розширення програм реструктуризації заборгованості.

6. Обмежувальні заходи у зв'язку з пандемією не можуть не призводити до суттєвих змін у сфері зайнятості населення та ситуації на ринку праці. Попередні оцінки, які були зроблено Міжнародною організацією праці, вказують, що зростання глобальної безробіття може становити від 5,3 млн. до 24,7 млн осіб.

Таким чином, перед кожною державою стає питання щодо проведення заходів, які з одного боку забезпечать безпеку здоров'я населення, а з іншого боку будуть наносити економіці держави і суспільству мінімізовану шкоду.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз показує, що людство стикалося з різними епідеміями протягом всієї історії свого існування. Наслідки епідемій та пандемій завжди були важкими і призводили до змін в соціально-економічній ситуації в країнах. Це могло бути як загострення політичної ситуації аж до зміни політичного устрою, зниження або втрата доходу, економічна рецесія, погіршення систем соціального та медичного обслуговування, підвищення смертності та зниження тривалості життя.

На початку XXI століття людство зустрілося з декількома загрозливими інфекціями, які належать до коронавірусів. Ці інфекції призводили до розвитку епідемій в різних частинах світу. Поява вірусу

SARS-COV2 призвела до оголошення пандемії, внаслідок особливостей розмноження даного вірусу, способів передачі, коефіцієнту інфекційності.

Розвиток пандемії показує, що, незважаючи на розробку нових методів лікування, проблема розповсюдження вірусів та боротьба з ним залишається актуальною.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПРОТИДІ ЕПІДЕМІЯМ

НУБІП України

2.1. Аналіз засобів боротьби з епідеміями.

НУБІП України

Інфекційні та паразитарні захворювання, як і раніше, залишаються досить поширеною патологією для людства. Майже кожний рік в різних кутках Землі виникають епідемії різних захворювань, тому питання проведення відповідних методів захисту є важливим [2; 7].

НУБІП України

Профілактика інфекційних захворювань здійснюється шляхом розробки та реалізації системи правових, економічних, соціальних та медичних заходів, спрямованих на попередження виникнення, поширення та

НУБІП України

раннє виявлення інфекційних захворювань та є завданням органів державної влади та місцевого самоврядування, роботодавців, медичних організацій, громадських об'єднань.

Санітарно-протиепідемічні (профілактичні) заходи здійснюються при перевищенні тижневих епідемічних порогів загалом по населенню певного регіону.

НУБІП України

Санітарно-протиепідемічні заходи можна визначити як сукупність об'єднаних на даному етапі розвитку науки рекомендацій, що

НУБІП України

забезпечують попередження інфекційних захворювань серед окремих груп населення, зниження захворюваності сукупного населення та ліквідацію окремих інфекцій. Протиепідемічні заходи проводять у разі виникнення (виявлення) інфекційної хвороби, профілактичні – постійно, незалежно від наявності чи відсутності інфекційного хворого.

Організаційна структура системи протиепідемічного захисту населення

НУБІП України

включає в себе медичні та немедичні сили та засоби. Важливу роль забезпеченні протиепідемічного режиму відіграють виконавці немедичного профілю. Комплекс різних за характером та спрямованістю заходів,

пов'язаних із очищенням населених пунктів, харчуванням, водопостачанням тощо, виконують державні органи, установи, підприємства за активної участі населення. Реалізацію цілої низки протиепідемічних заходів здійснюють лікувально-профілактичні заклади. Санітарна служба переважно керує цією діяльністю. Вона включає діагностичну (епідеміологічну діагностику), організаційну, методичну та контрольну функції. Виконавча функція санітарних установ обмежується проведенням окремих заходів щодо імунопрофілактики та дезінфекції, протиепідемічної роботою в осередку інфекції. Складність управлінської діяльності санітарно-епідеміологічних установ у тому, що для боротьби з інфекційними захворюваннями потрібно залучення зусиль і коштів, установам не підлеглих. Правові аспекти протиепідемічної діяльності закріплені у законодавчих документах.

Факторами епідеміологічного процесу є: джерело інфекції, механізм передачі збудника та сприйнятливість населення. Усунення одного з факторів неминуче призводить до припинення епідемічного процесу і, отже, унеможливує існування інфекційної хвороби. Тому профілактичні та протиепідемічні заходи можуть бути ефективними у тому випадку, якщо вони спрямовані на знешкодження (нейтралізацію) джерела інфекції, переривання шляхів передачі збудника та підвищення несприйнятливості населення (табл. 2.1) [2, 7].

Таблиця 2.1

Протиепідемічні заходи за їх направленістю на ланки епідеміологічного процесу

Ланки епідемічного процесу	Протиепідемічні заходи
Джерело інфекції (хвора людина)	Виявлення, діагностика, ізоляція, лікування, диспансерне спостереження за реконвалесцентами
Механізм передачі	Санітарно-гігієнічні та дезінфекційно-дезінсекційні заходи

Сприйнятливий організм	Імунопрофілактика, екстрена профілактика
------------------------	--

До протиепідемічних заходів, що направлені на джерело інфекції, відносяться діагностичні, ізоляційні, лікувальні, режимно-обмежувальні.

Раннє та повне виявлення інфекційних хворих є передумовою своєчасно розпочатого лікування, ізоляції та проведення протиепідемічних заходів у вогнищі. Розрізняють пасивне та активне виявлення інфекційних хворих. У першому випадку ініціатива звернення за медичною допомогою належить хворому чи його родичам. До методів активного виявлення інфекційних хворих відносять: виявлення хворих за сигналами санітарного активу, виявлення хворих та носіїв при різних профілактичних оглядах та обстеженнях (групи ризику). До активного виявлення слід також віднести виявлення інфекційних хворих під час проведення медичного спостереження в епідемічних осередках.

Діагностика інфекційних хвороб здійснюється клінічними та лабораторними методами. Клінічна діагностика проводиться на підставі анамнезу захворювання, епідеміологічного анамнезу, скарг, симптомів, даних огляду з урахуванням можливості стертих, атипових форм захворювання.

При зборі епідеміологічного анамнезу встановлюють (з зазначенням місця та часу) наявність контакту з хворим або носієм, вживання сирої води, підозрілих продуктів харчування, контакту з хворою твариною або сировиною тваринного походження, травм, ран, ін'єкцій.

Лабораторна діагностика проводиться на підставі результатів специфічних для даного захворювання мікробіологічних, біохімічних та інших видів досліджень біологічних матеріалів. Особливе значення щоденне опитування та вимірювання температури має у перед- і епідемічний періоди.

Це дає змогу виявити людей з одним з основних симптомів інфекційної хвороби.

Про кожен випадок інфекційної хвороби, носія збудників інфекційних хвороб або підозри на інфекційну хворобу медичний працівник (або особа,

що відповідає за це в закритому колективі) повідомляє відповідну установу за місцем реєстрації захворювання (незалежно від місця проживання хворого).

Госпіталізація хворих здійснюється за клінічними та епідеміологічними свідченням відповідно до діючих санітарно-епідеміологічних правил. При одних інфекціях (особливо небезпечні інфекції, черевний тиф, вірусний гепатит В та ін.) госпіталізація виявлених хворих обов'язкова, при інших (шигеліози, ешеріхіоз, кір, вітряна віспа та ін.) – допускається ізоляція хворих вдома. Щодо коронавірусної інфекції, то питання госпіталізації покладається на сімейного лікаря.

Особи, які спілкувалися з хворими за місцем проживання, навчання, роботи, за епідемічними показанням підлягають медичному спостереженню, лабораторному обстеженню та екстреній профілактиці.

Попередженням подальшого поширення у колективі чи регіоні інфекційних захворювань служать режимно-обмежувальні заходи, що проводяться щодо осіб, які контактували з хворими та зазнали ризику зараження.

Контактні особи розглядаються як потенційне джерело інфекції, оскільки вони можуть бути заражені та перебувати в періоді інкубації або бути виділювачами збудників.

Зміст режимно-обмежувальних заходів залежить від характеру інфекції, професійної приналежності контактних осіб та ін. Режимно-обмежувальні заходи проводять щодо осіб, які зазнали або схильні до ризику зараження. Тривалість цих заходів визначається часом небезпеки зараження осіб, які контактують з хворим або носієм, плюс максимальний інкубаційний період. Можна виділити три категорії режимно-обмежувальних заходів: посилене медичне спостереження, обсервація та карантин [1; 2; 6; 7].

Посилене медичне спостереження спрямоване на активне виявлення інфекційних хворих серед осіб, які перебували у спілкуванні з хворим (носієм) вдома, за місцем роботи, навчання тощо. дослідження та ін.

Обсервація (спостереження) – посилене медичне спостереження за здоров'ям людей, які перебувають у зоні карантину та мають намір залишити її.

Карантин – режимно-обмежувальний захід у системі протиепідемічного обслуговування населення, що передбачає повну ізоляцію контактних осіб, що забезпечується збройною охороною, у разі виникнення вогнищ особливо небезпечних інфекцій. При менш небезпечних інфекціях карантин означає введення деяких заходів щодо роз'єднання осіб, які були в контакті з хворим, заборона прийому нових або переведення дітей із групи. у групу в організованих колективах, недопущення осіб, які спілкувалися з хворим, у дитячі колективи, на харчові підприємства, обмеження їхнього контакту з іншими особами. Терміни та характер роз'єднання різняться при різних інфекційних хворобах, і визначаються відповідними санітарно-епідеміологічними правилами.

Протиепідемічні заходи, спрямовані на другу ланку епідемічного процесу, включають санітарно-гігієнічні, дезінфекційні.

Скупченість та переповненість колективів в різних організаціях, магазинах, культурних закладах, транспорті можуть істотно впливати на поширення інфекційних хвороб з різним механізмом передачі. У зв'язку з цим дуже важливо для попередження виникнення спалахів інфекційних хвороб; дотримання гігієнічних нормативів щодо чисельності людей в колективах, забезпечення поточного санітарного режиму, передбаченого нормативними правовими актами санітарного законодавства.

При інфекціях, що передаються крапельно-дихальним шляхом проведення заходів для припинення шляхів передачі збудника становить великі труднощі. Такі захворювання є найбільш контагіозними з усіх інфекцій, що вражають людину і мають дуже різноманітну етіологію.

Передачі цих інфекцій повітрям сприяють мікробні аерозолі (краплинна та ядерна фази) та інфікований пил, тому запобіжними заходами є застосування масок та респіраторів.

Засоби індивідуального захисту, у тому числі для захисту верхніх дихальних шляхів використовують відповідно до вимог, викладених в інструкції з застосування кожного з них.

Заходи щодо підвищення несприйнятливості населення зводяться як до загальнозміцнювальних заходів, що підвищують неспецифічну резистентність організму, так і до створення специфічного імунітету проведенням профілактичних щеплень [1; 6; 7].

Важливою ланкою у формуванні здоров'я людей є безпечна імунопрофілактика інфекційних захворювань. Імунопрофілактика здійснюється у плановому порядку та за епідемічними показаннями. Тактика імунопрофілактики регламентується умовами національного та регіонального календаря профілактичних щеплень та календарем профілактичних щеплень за епідемічними показаннями, у яких суворо визначено терміни, схеми щеплень, їх послідовність та поєднання. Імунопрофілактика організується та проводиться медичними організаціями.

Розширення календаря профілактичних щеплень сприяє профілактиці низки інфекційних захворювань та призводить до покращення здоров'я та якості життя населення.

Люди, що належать до професійних груп ризику інфікування та поширення інфекційних хвороб, зазвичай підлягають обов'язковій вакцинації як у плановому порядку, так і за епідемічними показаннями відповідно до національного та регіонального календаря профілактичних щеплень та календарями профілактичних щеплень за епідемічними показаннями.

Інформація про кількість нещеплених (відповідно до національної та регіональними календарями) населення є необхідною для прогнозу епідеміологічної ситуації та планування профілактичних заходів.

Штучний пасивний імунітет створюється введенням в організм препаратів, що містять готові антитіла (іmunні сироватки, імуноглобуліни).

Це дозволяє використовувати іmunні сироватки для профілактики інфекційних хвороб в осередку інфекції (екстрена або постекспозиційна

специфічна профілактика), а також для лікування хвороб, що вже розвинулися.

Значення всіх видів імунопрофілактики полягає у зниженні захворюваності, а в разі інфекції, що розвинулася, – у більш легкому її перебігу, і тим самим поліпшення прогнозу та зниження летальності.

Відмітимо, що однією з характерних особливостей протікання коронавірусної хвороби є безсимптомність. Безсимптомна інфекція характеризується відсутністю явних клінічних симптомів, таких як лихоманка, втома, кашель, біль у горлі та інших самосвідомих або клінічно

розпізнаних симптомів, але виявлення нуклеїнової кислоти або виявлення антитіл IgM є позитивний. Згідно з даними моніторингу тісних контактів, проведеного різними дослідниками, тісні контакти безсимптомних інфікованих людей мають призводити до зараження контактних осіб. Таким

чином деякі безсимптомні інфіковані призводять до агрегованої епідемічної ситуації. Дослідження показали, що вірусне навантаження в респіраторних зразках безсимптомних інфікованих людей не сильно відрізняється від підтверджених випадків. Отже, безсимптомні пацієнти є заразними, хоча

ймовірність передачі, викликані виділенням збудника, відносно менша, ніж у підтверджених випадках.

Тому серед заходів протидії коронавірусній інфекції є моніторинг безсимптомних інфекцій, посилення скринінгові зусиль та розширення сфери виявлення тісних контактів, ключові зони та ключові групи виявлених випадків та безсимптомної інфекції. При виявленні безсимптомної інфекції

необхідно проводити сувору ізоляцію та медичне спостереження, а також здійснювати ізоляційне медичне спостереження за тісними контактами.

Таким чином, для протидії коронавірусній інфекції можна застосовувати, по-перше, медичне спостереження за близькими контактами

випадків нової коронавірусної пневмонії; по-друге, проводити епідеміологічне розслідування кластерної епідемічної ситуації; по-третє,

активно виявляти заражене населення в процесі відстеження джерела інфікування випадків нової коронавірусної пневмонії.

Тому в якості основних заходів протидії коронавірусній інфекції пропонується і надалі зосереджуватись на своєчасному виявленні, ізоляції та діагностиці пацієнтів, а також добре працювати в веденні тісних контактів.

Досвід протікання епідемії свідчить, що своєчасне виявлення та ізоляція підтверджених випадків, а також відповідні заходи щодо зменшення міжособистісних контактів можуть практично блокувати поширення епідемії.

2.2. Підходи до оцінки заходів протидії епідеміям

Спрямованість заходів залежить від особливостей інфекції. Поряд із комплексним підходом до протиепідемічної діяльності вирішальними будуть заходи, спрямовані на найбільш вразливу та доступну ланку. Так, при кишкових інфекціях основу профілактики становить комплекс санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на перерву шляхів передачі хвороб та попередження зараження населення.

У той же час ці заходи малоефективні при інфекціях дихальних шляхів, тому що практично неможливо перервати аерозольний механізм передачі збудників інфекції, що надзвичайно активно діє при них. Регулює захворюваність на інфекції дихальних шляхів імунологічний фактор. У зв'язку з цим вирішальну роль у профілактиці цієї групи інфекцій відіграють заходи щодо специфічної імунізації населення з метою створення високого прошарку колективного імунітету [6; 7].

Відповідно, ті хвороби, у боротьбі з якими розроблені вакцини, належать до керованих засобами імунопрофілактики. До таких інфекцій відносять ряд аерозольних антропонозів (кір, дифтерія, кашлюк, епідемічний паротит та ін.).

До інфекцій, керованих санітарно-гігієнічними заходами, відносять антропоози з фекально-оральним механізмом передачі (шигельози, черевний тиф, вірусні гепатити А та Е та ін.). Однак при поліомієліті стійке зниження захворюваності стало можливим лише після розробки та широкого використання живої вакцини.

Профілактика захворюваності людей на едози домашніх тварин забезпечується санітарно-ветеринарними заходами та щепленнями, а природно-осередковими інфекціями – режимно-обмежувальними та щепленими заходами. [6, 7]

Питома вага окремих заходів різна і залежить тільки від характеру інфекції, а й від цієї санітарно-епідеміологічної ситуації, у якій їх проводять.

За наявності великого набору методів лабораторної діагностики слід кожному дати правильну епідеміологічну оцінку. Складність багатьох лабораторних тестів обмежує можливість їхнього широкого застосування. Саме з цих причин адено- та ентеровірусні інфекції часто не діагностуються, хоча зустрічаються повсюдно.

Заходи щодо джерела інфекції в епідемічному осередку слід розглядати як ефективні у тих випадках, коли відповідно до патогенезу хвороби хворого ізоловують до настання заразного періоду та на весь його термін.

При зоонозах свійських тварин найрадикальнішим заходом є знищення. В окремих випадках, якщо йдеться про високоцінні породи тварин, вдаються до лікування або створення спеціальних господарств для утримання та санації ураженої худоби. Поряд із знезараженням джерел інфекції проводять заходи щодо знищення ектопаразитів – переносників збудників. При зоонозах такі заходи здійснює ветеринарна служба, яка надає відповідну інформацію санітарно-епідеміологічній службі.

При зоонозах диких тварин (природно-вогнищеві хвороби) проблема полягає в винищуванні або зменшенні щільності популяції тварин на великих територіях, особливо при виявленні випадків чуми, сказу та ін. Господарське освоєння територій (орніть степів, меліорація,

лісонасадження) призводить найчастіше до ліквідації природних вогнищ інфекційних хвороб.

Успіх протиепідемічної роботи складається з якості використовуваних засобів, достатності обсягу, своєчасності та повноти заходів, що проводяться.

Ефективність протиепідемічних заходів - це їх здатність змінювати рівень, структуру та динаміку інфекційної захворюваності, запобігати або зменшувати пов'язані із захворюваністю збитки здоров'ю населення.

Ефективність протиепідемічних заходів прийнято розглядати у трьох аспектах: епідеміологічному, соціальному та економічному.

Під епідеміологічним ефектом протиепідемічних заходів розуміють величину запобігання інфекційним захворюванням населення та пов'язаних із захворюваністю явищ. Характеризують епідеміологічний ефект зміни рівня захворюваності на інфекційні хвороби населення або окремих його груп і виражають у вигляді індексу ефективності [6; 7].

Соціальна ефективність протиепідемічних заходів пов'язана із запобіганням убутку населення загалом та зменшенням смертності та інвалідності, зокрема дієздатного населення.

Економічна ефективність тісно пов'язана із соціальною. Вона виражається тим економічним ефектом, що досягнуто внаслідок збереження працездатності населення та запобігання витрат суспільства на лікування хворих, утримання непрацездатних, проведення заходів в епідемічних осередках тощо.

Епідеміологічний, соціальний та економічний аспекти окремих заходів у діяльності протиепідемічної системи загалом взаємопов'язані. Однак, в будь-якому разі, пріоритетом є епідеміологічний аспект, оскільки основою будь-яких заходів є збереження життя та здоров'я населення.

2.3. Математичні методи епідеміології

Початок застосування математичних методів щодо епідемій належить Д. Бернуллі в середині XVII століття. Він уперше застосував найпростіший математичний апарат для оцінки ефективності профілактичних щеплень проти натуральної віспи. Після цього була значна перерва, яка завершилася роботами англійського вченого Вільяма Фара. Він вивчав та моделював статистичні показники смертності населення Англії (Уельсу) від епідемії натуральної віспи в 1837-1839 рр. Цей учений уперше отримав математичні моделі показників "руху" епідемії натуральної віспи у вигляді статистичних закономірностей, що дозволило йому в результаті скласти прогностичну модель цієї епідемії [36].

На початку XX століття статистичний підхід У. Фарра у вивченні епідемій був переосмислений і потім розвинутий у роботах Дж. Браунлі, де він аналізував статистичні закономірності "руху" епідеміологічних показників за допомогою маловідомих методів математичної статистики. Однак цей статистичний підхід у вивченні закономірностей розвитку епідемій суттєво відрізняється від аналітичного підходу, який був запропонований наприкінці XIX ст. в Англії. Завдяки цим дослідникам, на початку XX століття були сформульовані основи сучасної теорії математичного моделювання епідемій, розроблені перші прогностичні моделі епідемій (кір, вітрянка, малярія та ін.), вивчено їх основні властивості, отримано аналітичні формули для прогнозування епідемії [34].

У 20-ті роки XX століття аналітичний підхід отримав подальший розвиток серед вчених Великобританії. Теоретичні роботи цих учених і сьогодні широко цитуються та використовуються вченими Заходу в аналізі та прогнозі епідемій (спалахів) актуальних інфекцій (грип та ГРВІ; холера та ГКІ; парентеральні гепатити В та С; ВІЛ/СНІД, сифіліс та гонорея та ряд інших інфекцій).

З появою в середині 50-х років XX століття перших електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) став оформлятися наступний етап у розвитку

МТЕ, коли число наукових робіт та публікацій з математичного та комп'ютерного моделювання епідемій почало швидко збільшуватися.

У роботах того часу з'являється все більш складні математичні моделі, в яких істотну роль відігравали випадкові епідемічні фактори процесу, тому більшість моделей цього періоду мали стохастичний (імовірнісний) характер, а робочим апаратом була теорія ймовірностей та випадкових процесів. Цей етап у розвитку математичної епідеміології був пов'язаний із "натиском" на епідеміологію "чистих" математиків, яким вдалося створити безліч абстрактних моделей, але з дуже обмеженим епідеміологічним змістом.

Наступний етап у розвитку математичної епідеміології, який відноситься до другої половини ХХ століття, був пов'язаний зі швидким прогресом у галузі комп'ютерних технологій (розроблені потужні комп'ютери з новітніми інструментами програмування та моделювання).

У 60-70 роки у країнах Заходу було розроблено нові типи детермінованих та стохастичних моделей епідемій, орієнтовані на вивчення закономірностей розвитку соціально-значущих вірусних та бактеріальних інфекцій.

Зупинимось на деяких підходах до моделювання епідеміологічних ситуацій.

Оскільки епідемія розвивається в часі, то будь-які історичні дані щодо епідеміологічної ситуації є рядами динаміки.

Доволі простима, але дієвим способом дослідження рядів динаміки є використання методів згладжування різних динамічних рядів захворюваності. При їх використанні потрібно враховувати певні обмеження щодо даних, які досліджуються. Так, згладжування методом подовження інтервалів та ковзної середньої має сенс використовувати в рядах динаміки, які мають 9 і більше значень, оскільки при їх застосуванні втрачаються проміжні варіанти (подовження інтервалів) або крайні показники (ковзна середня). Для більш коротких рядів можна використовувати метод виваженої ковзної середньої.

У динамічних рядах захворюваності з великою амплітудою коливань (грип, епідемічний паротит), а також із слабо вираженою періодичністю (скарлатина, менінгококова інфекція) методи згладжування використовувати не рекомендується, тому що в першому випадку вони можуть спотворити особливість епідемічного процесу, а в другому – погасити слабо виражені циклічні компоненти. Методи подовження інтервалів та ковзної середньої (у тому числі виваженої) придатні для грубого, орієнтовного визначення характеру тенденції та циклічної компоненти [34; 36].

Для більш глибокого дослідження динамічних рядів використовуються методи фільтрації випадкових процесів, наприклад, здійснюється розрахунок та аналіз відхилення від теоретичної лінії тенденції. Це дозволяє оцінити вираженість періодичних підйомів за абсолютними значеннями розрахованих відхилень.

Оскільки епідеміологічний процес суттєво залежить від історії (кількості людей, що захворіли на певний момент часу, кількості людей, що мають вже імунітет, тощо), то для рядів динаміки бажано використовувати адаптивні моделі динамічних рядів. Такі моделі є саморегульованими, які здатні швидко пристосовувати свою структуру й параметри до зміни, що відбуваються в разі появи нових даних. Оновлення даних не потребує одночасної зміни усієї моделі.

Нехай ми перебуваємо в якомусь поточному стані, для якого відомий поточний рівень ряду y_t й очікуване значення $y_{t+1} = \hat{y}_t(1)$. Після надходження фактичного значення обчислюється помилка, розбіжність між фактичним і прогнозованим рівнем (довготермінова функція моделі): $e_{t+1} = y_{t+1} - \hat{y}_t(1)$

Модель базується на припущенні, що зміна фактичного рівня є деякою часткою ($0 < |\gamma| < 1$) від очікуваної зміни $y_t - y_{t-1} = \gamma(y_t^* - y_{t-1})$. Параметром моделі виступає коефіцієнт адаптації γ , за допомогою якого визначається ступінь врахування історичних даних. В якості критерію оптимального

вибору параметра адаптації обирають мінімум середнього квадрата помилок прогнозування [17].

Помилка прогнозу враховується в моделі на основі переходу від одного стану до іншого, що дає змогу коригувати параметри моделі з метою більшого узгодження поведінки моделі з динамікою ряду.

Адаптаційний процес є ітераційним, де на кожному кроці отримується нова фактична точка ряду. Модель постійно використовує історичну інформацію й розвивається з урахуванням тенденцій, наявних на теперішній момент. Такі адаптивні моделі успішно використовуються для оперативних задач, оскільки вони є не складними в обчисленнях та забезпечують оперативне реагування на зміни в тенденціях явища.

Оскільки основою даних методів є теорія ймовірностей та математична статистика, то вони дозволяють врахувати випадкові фактори, які завжди присутні в явищах, пов'язаних з людською поведінкою. Однак з іншої сторони, розглянуті підходи не враховують можливість застосування різних заходів щодо обмеження

Основним недоліком таких моделей є неможливість врахувати епідеміологічні заходи. Найосновнішим припущенням при розробці популяційних моделей є поділ населення на три підгрупи. Ці підгрупи визначаються за станом здоров'я, впливом збудника, демографічними чи епідеміологічними особливостями [31; 32].

Найпростіша модель складається з трьох різних компартментів і співвідношень сприйнятливих (S), інфікованих (I) і тих, що одужали, або стійких (R) у великій популяції. У детермінованих моделях всі ці змінні є функціями дискретного часу $t = 0, 1, 2, \dots$, в неперервних моделях вони є диференційованими функціями від неперервного часу. Ключові параметри системи:

– сприйнятливі особи (позначаються S) в популяції, які не були інфіковані. Вони здорові, але ризикують заразитися. Після того, як вони заразилися інфекцією, вони переходять до інфікованої підгрупи.

– інфіковані особи (позначається I) є заразними або є носіями вірусу (хвороби). Вони можуть заразити сприйнятливих людей

– ті, хто одужав, або померлі особи (позначаються R), які одужали або померли від хвороби.

Усі моделі SIR мають кілька основних припущень [38,40]:

1. Загальний розмір популяції господарів залишається незмінним ($S + I + R = N$).

2. Популяція повинна бути однорідною.

3. Будь-які демографічні зміни (народження або смерть) в період епідемії не передбачені. Також вважається, що всі інфекції закінчуються одужанням або видаленням з компартментів.

4. Людина може залишити сприйнятливу групу, лише заразившись. Людина може залишити інфіковану групу, лише одужавши від хвороби.

5. Імовірність зараження не залежить від таких факторів, як вік, стать чи соціальний статус.

6. Під час епідемії сприйнятливі ізолюватися від інфікованих або вживають інші захисні заходи.

7. Швидкість відновлення постійна в часі.

8. Рівняння мають перший порядок похідної:

$\frac{dS}{dt}$ – швидкість нового інфікування,

$\frac{dI}{dt}$ = швидкість інфікування - швидкість одужання,

$\frac{dR}{dt}$ – швидкість одужання.

Модель ґрунтується на кількох простих припущеннях [17].

Нові інфекції виникають через контакт між інфікованими та сприйнятливими особами, і швидкість змін пропорційна кількості взаємодій.

Це добуток $S(t)$ та $I(t)$ з постійним α -параметром. Кількість сприйнятливих зменшується, коли люди вступають в контакт з інфікованими:

НУБІП України

$$\frac{d}{dt} S(t) = -\beta \frac{S(t)I(t)}{N} \quad (2.1)$$

Коли сприйнятливі особи стають інфікованими, вони залишають компартмент сприйнятливих і приєднуються до інфікованої групи зі швидкістю $\beta S(t)I(t)$. Таким чином, загальна популяція інфікованих осіб збільшується. І навпаки, особи залишають заражений відсік і приєднуються до групи тих, що одужали. Оскільки β вважається постійним, це означає, що швидкість змін залежить від часу, оскільки розмір інфікованої групи змінюється [38; 40]:

$$\frac{d}{dt} I(t) = \beta \frac{S(t)I(t)}{N} - \gamma I(t) \quad (2.2)$$

Оскільки інфіковані носії можуть залишити свою групу, лише приєднавшись до нової R-групи, яка змінюється лише через додавання тих, хто одужав від інфекції. Швидкість відновлення визначається постійним параметром γ :

$$\frac{d}{dt} R(t) = \gamma I(t) \quad (2.3)$$

Наведена нижче діаграма ілюструє динаміку класичної моделі SIR:

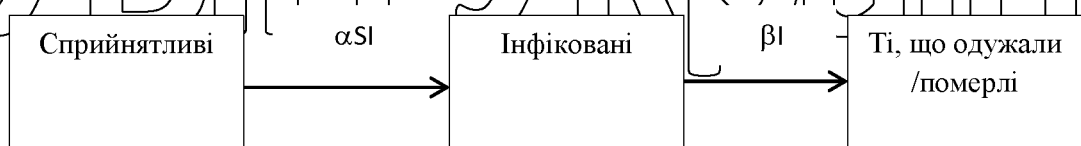


Рисунок 2.1 – Діаграма станів для моделі SIR

Більш загальною системою є модель SEIR. Перша група моделі SEIR – це сприйнятливі особи (S), тобто ті, хто може заразитися хворобою. Після цієї стадії особи переходять до групи тих, хто знаходиться в інкубованому стані (E) (вважається, що вони не можуть передавати хворобу), за ними йдуть ті, хто інфікований (I) і здатний передати хворобу іншим особам. Остання група включає тих, хто отримали імунітет (одужали) або померли через хворобу (R) [38; 40].

Як видно з назви, модель SEIR містить на одну групу більше, ніж модель SIR.

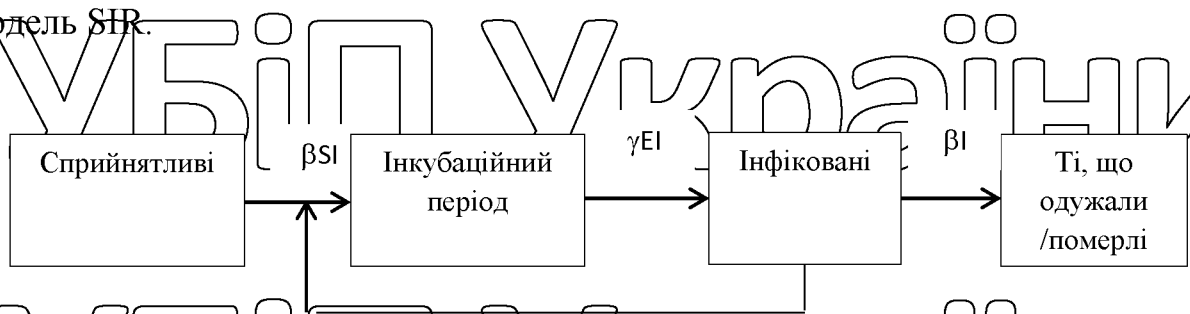


Рисунок 2.2 – Діаграма станів моделі SEIR.

У багатьох ситуаціях люди не можуть заразити сприйнятливих відразу після зараження. Передача відбувається лише через певний час після зараження, коли відбувся розвиток патогенна в організмі носія. Таким чином виникає нова група осіб, які перебувають в інкубаційному періоді, але поки що не є заразними.

$$\frac{d}{dt} S(t) = -\beta \frac{S(t)I(t)}{N}$$

$$\frac{d}{dt} E(t) = \beta \frac{S(t)I(t)}{N} - \kappa I(t) \quad (2.4)$$

$$\frac{d}{dt} I(t) = \kappa E(t) - \gamma I(t)$$

НУБІП України $\frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t)$

Важливим параметром у моделюванні захворювання є базове репродуктивне співвідношення, що позначається як R_0 . Цей параметр вказує нам, чи знаходиться населення під загрозою епідемії. Репродуктивний коефіцієнт це кількість вторинних інфекцій, викликаних первинною інфекцією в загальній сприйнятливій популяція [19], і її можна використовувати, щоб передбачити, хто не стане інфіковано при $t \rightarrow \infty$. R_0 – безрозмірне число, що визначає порогову рівновагу без хвороб. Його можна виразити як добуток трьох величин

$$R_0 = \left(\begin{array}{c} \text{Ймовірність} \\ \text{зараження} \\ \text{через контакт} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} \text{Число} \\ \text{контактів} \\ \text{за одиницю часу} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{c} \text{Тривалість} \\ \text{інфекції} \end{array} \right) \quad (2.5)$$

або

$$R_0 = p \cdot c \cdot d \quad (2.6)$$

де

p – ймовірність передачі,

c – швидкість контакту,

d – тривалість інфекційного періоду.

Якщо $R_0 > 1$, то хвороба вражає популяцію, вона розповсюджується, щоб досягти свого максимуму, а потім зменшується до нуля. Якщо $R_0 < 1$, хвороба згасає. Вона зменшується монотонно до нуля. Отже, порогова рівновага стабільна.

Основною перевагою популяційних моделей є можливість врахування поведінки популяції та умов розповсюдження для конкретних інфекцій. Це дає змогу досліджувати впливи різних факторів на можливий перебіг ситуації.

Висновки до розділу 2

На основі проведеного дослідження було з'ясовано, що протягом свого існування на основі досвіду та досліджень умов виникнення епідемій людство змогло сформувати основний набір протиепідемічних заходів. Для кожного виду інфекції цей набір може складатися по-різному, що обумовлено особливостями розповсюдження інфекції, передачі її від однієї людини до іншої.

Серед цього набору основну роль відіграють заходи, направлені на переривання передачі, та заходи, спрямовані на підвищення колективного та індивідуального імунітету.

Розвиток комп'ютерної техніки призвів до широкого впровадження в практику епідеміології математичних моделей, за допомогою яких намагаються описати процес епідемії. Вибір моделі залежить від цілей дослідника, але особливе поширення отримали популяційні моделі, що базуються на диференціальних рівняннях.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ
СТРАТЕГІЙ ПРОТИДІЇ COVID-19

3.1. Аналіз розвитку епідемії COVID-19

Поширення кожного інфекційного захворювання має свої особливості. Чинники, несуттєві для одних епідемій, можуть бути значущими для інших.

Наприклад, при описі поширення COVID-19 необхідно враховувати масштабність епідемії, оскільки вона істотно впливає на модель. Для невеликих населених пунктів можна припускати, що хворі та сприйнятливі розподілені рівномірно і кожен сприйнятливий з ймовірністю може зустрітися з будь-яким інфікованим. Для великих населених пунктів, що включає різні міста (і країни) це не так. Отже, не можна вважати, що швидкість зміни відносної кількості новохворих прямо пропорційно відносному кількості заразних та сприйнятливих. Залежність у разі COVID-19 буде нелінійною.

Однак, масове введення карантинних заходів, закриття кордонів – також відмінна риса епідемії COVID-19. А, отже, коректний опис динаміки епідемії можливий при розгляді незалежних хвиль епідемії, що одночасно розповсюджуються в різних субпопуляціях з істотно різною щільністю населення.

До особливостей епідемії COVID-19 можна також віднести той факт, що виявлені хворі ізолюються (шпиталізуються) та ймовірність зараження від них різко зменшується.

Ще однією особливістю COVID-19 є те, що латентні носії є деякою мірою заразними, і що у суттєвій кількості інфікованих хвороба протікає безсимптомно.

Характерною особливістю розвитку епідемії COVID-19 стало створення кількох вакцин (CoronaVac, Pfizer, Moderna та інші). На вакцинацію покладаються великі надії з погляду зупинки поширення вірусу в

окремих країнах. Вже через 2-3 місяці від початку вакцинації вже можна було зробити певні висновки. Так, наприклад, у низці країн із початком вакцинації рівень захворюваності COVID-19 став падати (Велика Британія, Ізраїль, ОАЕ). В інших країнах, незважаючи на вакцинацію, захворюваність на COVID-19 продовжувала зростати (Франція, Німеччина, Італія).

Швидкість або темп вакцинації в даному випадку відіграє істотну роль.

Також важливо відмітити, що вакцинація почалася вже після початку епідемії.

В даний час можна говорити про декілька хвиль епідемії коронавірусу.

Протягом першої хвилі в багатьох країнах світу було досягнуто стадії стабілізації числа інфікованих. Однак сезонна міграція населення в період літніх відпусток та відкриття кордонів призвела до потужної другої хвилі пандемії, наслідки якої суттєво важчі, ніж у першій хвилі. На даний час число інфікованих у країнах, уражених коронавірусом менше ніж 8% від загальної чисельності населення країн.

У першій хвилі коронавірусу можна виділити три універсальні стадії, якими пройшли багато країн світу. Найбільша швидкість зараження спостерігалася у початковий момент розвитку епідемії. Це пов'язано із сезонною міграцією населення, серед якого було багато інфікованих Covid-19. Наступна стадія – це некероване практично експоненційне зростання числа заражених, яке змінилося режимом суворого карантину та самоізоляції.

Потім настала третя стадія – це ослаблення вражаючої можливості вірусу внаслідок різкого зниження частоти фізичних контактів.

З моменту першої хвилі карантину та суворих обмежень у березні, квітні та травні уряди намагалися знайти спосіб утримати низьку кількість заражень, зберігаючи при цьому сильну економіку та дозволяючи людям жити майже нормальним способом. Це виявилось складним завданням, головним чином через те, що воно включає різні суперечливі цілі, наприклад, підтримувати високе схвалення обмежень громадськістю та зупинити

економіку, уповільнюючи поширення та запобігаючи перевантаженню систем охорони здоров'я.

Відмітимо, що граничні значення швидкості на всіх стадіях виявляються практично постійними значеннями. Ці значення визначаються протягом днів після початку стадії. Це відображає консервативність національної поведінки населення та незмінні мікробіологічні закономірності реплікації вірусу.

Таким чином, в моделі, за допомогою якої буде проводити моделювання пропонується використовувати такі умови:

1. У частини інфікованих хвороба протікає безсимптомно
2. Латентні носії є деякою мірою заразними.
3. Суворі ізоляція виявлених хворих зменшує ймовірність контакту сприйнятливих із виявленими інфікованими.
4. Введення карантинних заходів зменшує ймовірність контакту сприйнятливих з латентними та не виявленими (безсимптомними) інфікованими.
5. Залежність між швидкістю зміни відносної кількості хворих та відносною кількістю заразних та сприйнятливих є нелінійною.

Для опису динаміки поширення COVID-19 виділимо в популяції такі групи:

1. сприйнятливі ($S(t)$),
2. латентні ($E(t)$),
3. інфіковані з безсимптомним перебігом хвороби ($I_1(t)$),
4. інфіковані з явними проявами хвороби ($I_2(t)$),
5. ті, хто одужав ($R(t)$),
6. померлі ($D(t)$).

На рис. 3.1 зображено схему можливих переходів між виділеними групами.

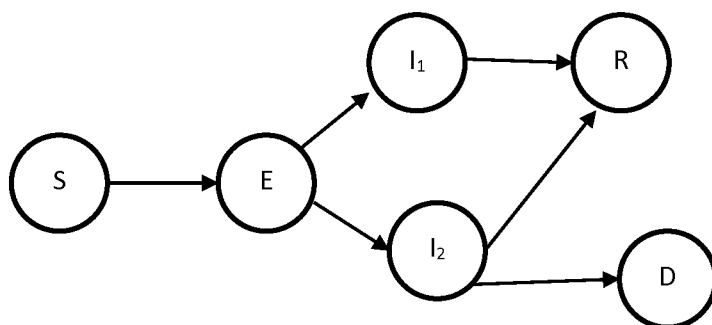


Рисунок 3.1 – Схема можливих переходів у моделі SIER

Для подальшого аналізу будемо використовувати модель (3.4).

3.2. Моделювання розвитку COVID-19 з використанням різних умов протікання захворювання

Для визначення оптимального складу контрзаходів необхідно передбачити зв'язок між контрзаходами та їх впливом на поведінку інфекції.

Оскільки в більшості країн було впроваджено декілька заходів одночасно, то важко визначити їх індивідуальний ефект. Однак на основі математичного прогнозування розповсюдження інфекційних хвороб можна визначити легко обчислювані схеми прогнозування для всіх можливих комбінацій контрзаходів.

Проведемо моделювання розвитку COVID-19 для трьох сценаріїв.

Перш за все, розглянемо розвиток епідемії в звичайних умовах без використання жодних протиепідемічних заходів.

Другий сценарій передбачає використання карантинних заходів для забезпечення переривання передачі вірусу.

Третій сценарій передбачає вакцинацію населення з метою зменшення кількості сприятливої групи.

Зауважимо, що на даному етапі розвитку епідемії обмежувальні заходи зазвичай проводять для окремих регіонів згідно епідемічної ситуації, тому і моделювання потрібно проводити для субпопуляції.

У проведеному моделюванні будемо використовувати такі дані.

Згідно з наявними у відкритому доступі статистичними (усередненими) даними: час тривалості хвороби $T_1 = 18$, інкубаційний період $T_2 = 5.2$.

Загальна кількість субпопуляції 100000, кількість інфікованих на момент початку дослідження становить $100000 \cdot 8\% = 8000$

Частка латентних на момент початку дослідження становить на 1 особа.

Коефіцієнт смертності – 3.4%, число заражень від однієї інфікованої людини – репродуктивне число $R_0 = \frac{\beta}{\gamma} = 3.5$

Тоді $\gamma = 0.056$, $\delta = 0.192$, $\mu = 0.034$, $\beta = 0.194$.

Час моделювання – 100 днів.

Параметри моделі наведені в табл.3.1

Реалізація моделі була здійснена на мові програмування Python в середовищі Anaconda. Для реалізації програмної системи також були використані такі бібліотеки:

- NumPy – розширення, яке додає підтримку матриць і багатовимірних масивів, а також математичні функції для роботи з ними.
- Matplotlib – бібліотека для роботи з 2D- і 3D-графікою;
- Pandas – бібліотека для аналізу даних;
- Scipy – бібліотека для з реалізаціями обчислювальних методів.

В якості середовища реалізації був обраний Jupyter Notebook. Він є веб-додатком з відкритим вихідним кодом, що дозволяє створювати документи з виконуваним інтерактивним кодом, візуалізаціями, простим текстом. Jupyter Notebook використовується для обробки даних, чисельного та статистичного моделювання, візуалізації даних, машинного навчання та багато іншого. Файлами можна поділитися з будь-ким, вони допомагають ефективніше працювати з кодом.

Таблиця 3.1 – Параметри моделі для тестування

Параметр	Символ	Значення	Коментар
Населення	InitN	10000	Субпопуляція
Період аналізу	Days	100	Період спалаху епідемії
Вірогідність захворіти	Infection rate	0,194	Середнє значення, воно може відрізнятись під впливом різних факторів
Період одужання	Recovery rate	1/18	В середньому хвороба проходить за 2 тижні, але гострі симптоми за тиждень
Інкубаційний період	Incubation rate	1/5.2	-
Вірогідність померти	Mortality rate	0.034	Середнє значення, воно може відрізнятись під впливом різних факторів
Початкова кількість інфікованих або сприйнятливих	InitI	8000	Значення для дорослих
Кількість людей, які одужали	InitR	0	Початкове значення
Кількість людей, які знаходяться в групі ризику	InitE	1	Початкове значення
Кількість людей, що померли	InitD	0	Початкове значення

Результати моделювання подані на рис 3.1.

Проведене моделювання показує, що для невеликої популяції через 2 місяці починає знижуватись кількість інфікованих та кількість безсимптомних осіб. В той же час кількість захворівших та кількість померлих зростає постійно протягом усього періоду моделювання (100 днів).

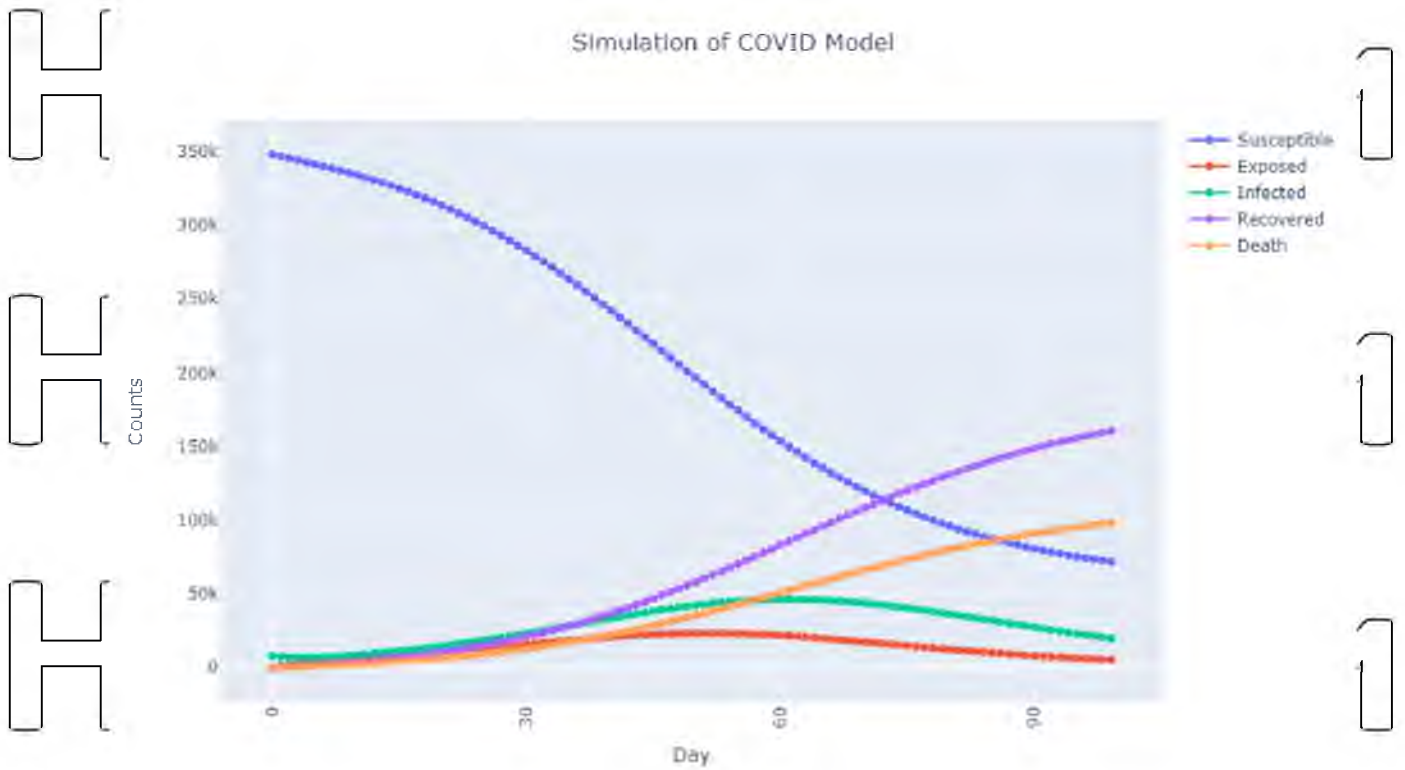


Рисунок 3.2 – Результати моделювання розповсюдження COVID-19 за першим сценарієм

НУБІП України

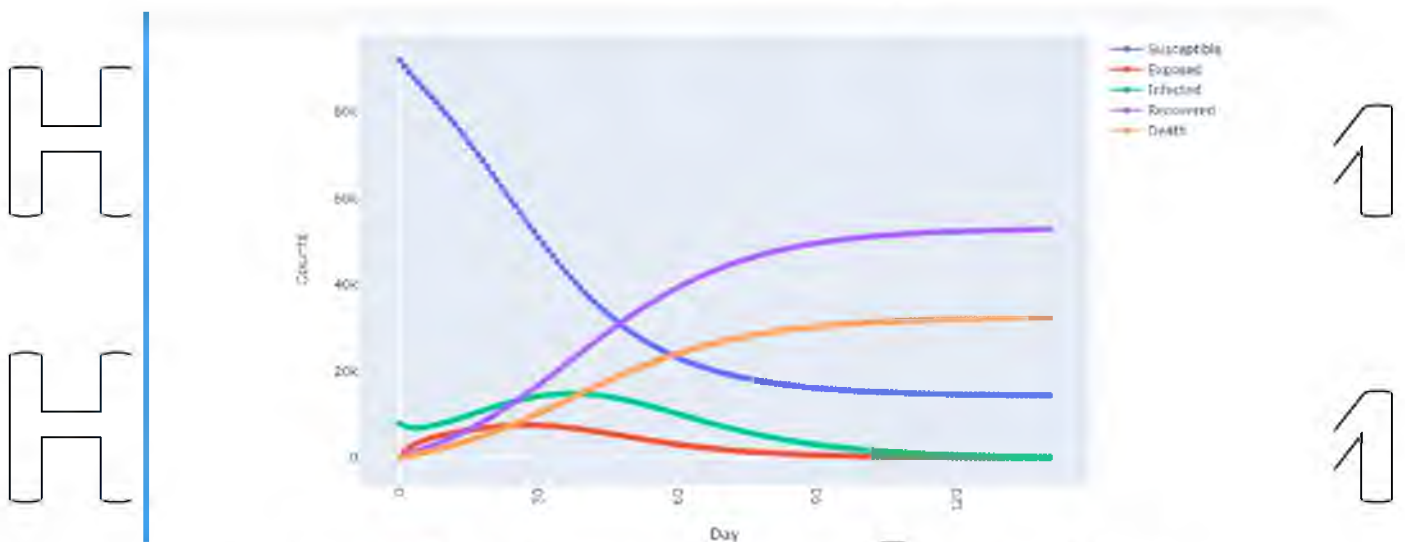


Рисунок 3.3 – Збільшення лагу моделювання до 120 днів

НУБІП України

При продовженні моделювання у часі спостерігається перехід системи до стабільної ситуації. Через 3 місяці, кількість хворих та померлих не

змінюється, кількість інфікованих та безсимптомних осіб знизилось до 0. Таким чином, можна стверджувати, що дана субпопуляція отримала колективний імунітет через 3 місяці. Однак такий імунітет був отриманий за рахунок смерті 30% населення (32,3 тис.ос. на кінець періоду моделювання).

Змоделюємо ситуацію розвитку епідемії для великої субпопуляції (1 млн. ос.), але при збереженні заданої кількості початково інфікованих осіб (рис.3.4).

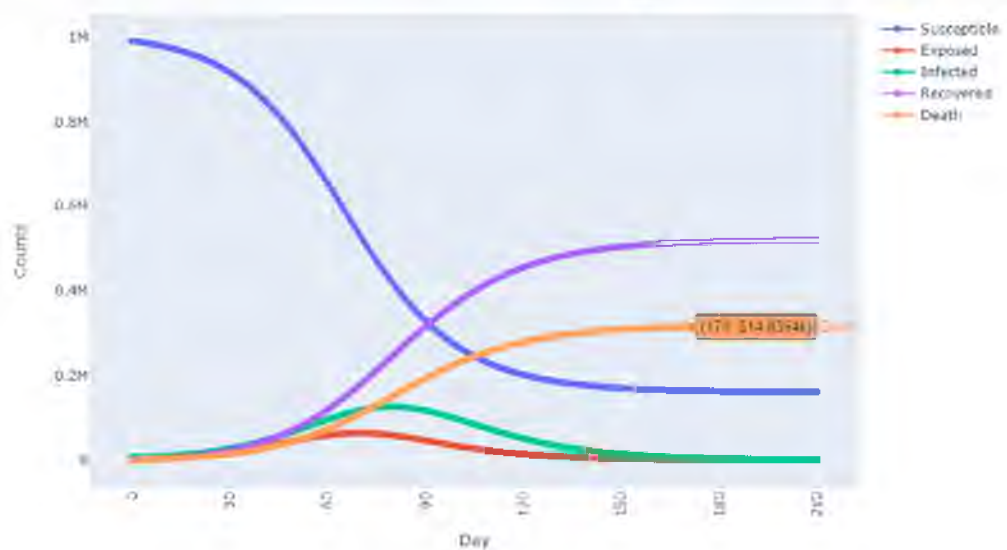


Рисунок 3.4 – Моделювання розповсюдження COVID-19 для великої субпопуляції

Результати моделювання свідчать, що стан незмінності системи настає через 6 місяців, зменшення кількості інфікованих та безсимптомних осіб починає через 2,5 місяці. Однак колективний імунітет набувається за рахунок смерті 30% (313,7 тис. ос. на період встановлення рівноваги) населення.

Тепер розглянемо вплив карантинних заходів на протікання коронавірусної хвороби. Обмежувальні карантинні заходи направлені на переривання процесу передачі інфекції, тому основним параметром, що змінюється в моделі, буде зменшення ймовірності захворювання.

статистичні дані свідчать, що загальна кількість тих, хто захворів, при встановленні карантинних обмежень зменшується вдвічі, тому можемо припустити, що репродуктивне число зменшиться до $R = 0.097$. Результати моделювання наведені на рис.3.5.

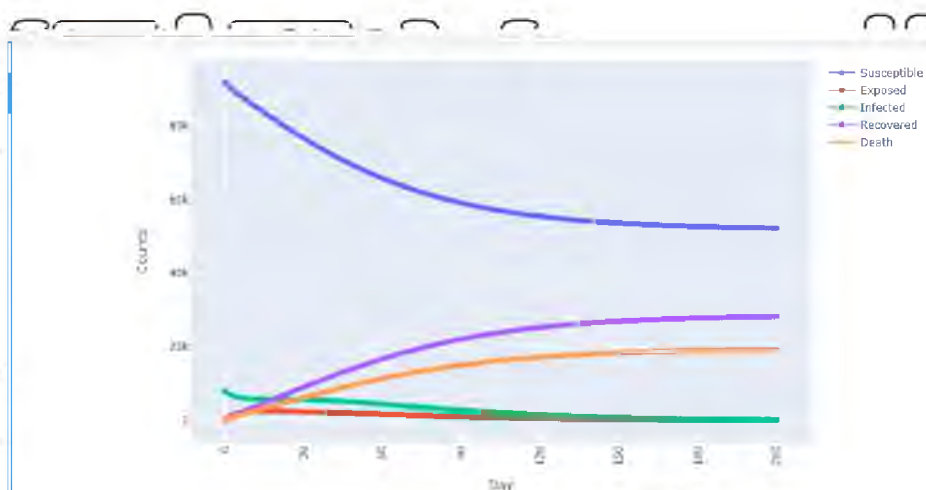


Рисунок 3.5 – Моделювання розповсюдження COVID-19 в умовах жорстких карантинних заходів

Аналіз результатів моделювання свідчить, що в умовах даного сценарію спостерігається поступове зменшення кількості інфікованих.

Кількість прихованих хворих на самому початку моделювання зростає, але майже відразу ж кількість зменшується. Внаслідок цього кількість сприйнятливих залишається доволі високою, що свідчить про можливість збільшення рівня захворюваності після зняття карантинних обмежень.

Кількість тих, хто одужав є не дуже високою, оскільки в популяції мало тих, хто захворів. Але кількість померлих залишається доволі високою і складає 17% (17,4 тис. ос.) для даної популяції. Система приходить до стану стабільності через 6 місяців після початку моделювання.

Моделювання сценарію з карантинними обмеженнями для великої популяції наведено на рис. 3.6.

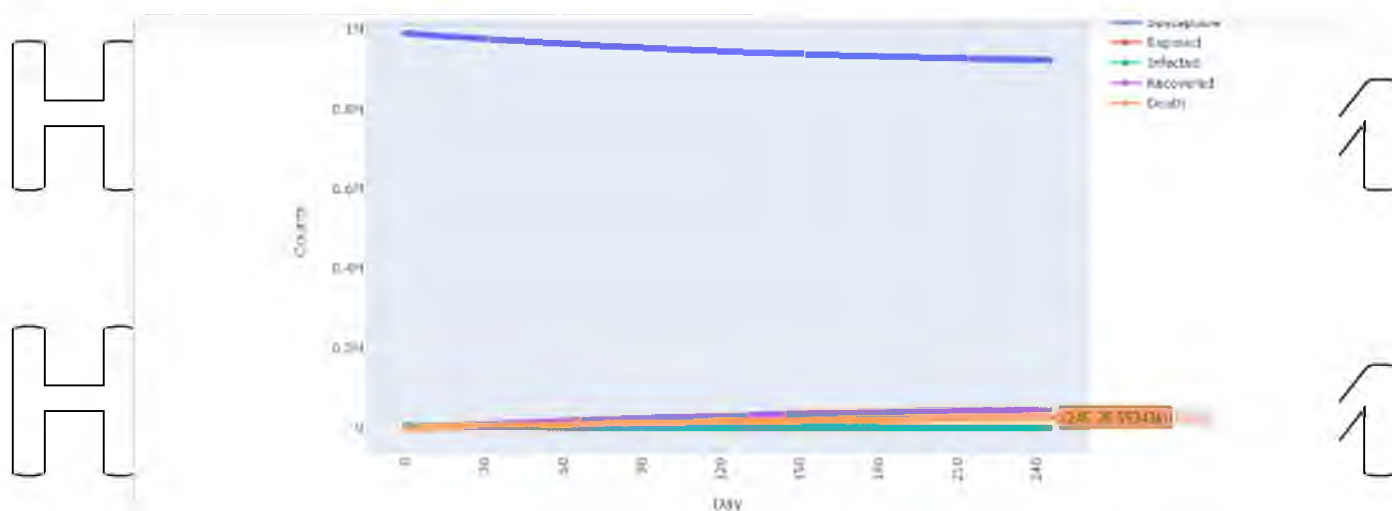


Рисунок 3.6 – Моделювання розповсюдження COVID-19 в умовах жорстких карантинних заходів для великої субпопуляції

Аналіз результатів моделювання свідчить, що для великої популяції кількість сприйнятливих осіб залишається доволі високою внаслідок переривання ланцюга передачі. Кількість інфікованих поступово зменшується, але не на стільки швидко, як для невеликої субпопуляції. Кількість тих, що захворіли, та кількість померлих поступово збільшується і, навіть на 8-й місяць моделювання продовжує збільшуватись і не виходить на незмінне плато. Загальна кількість померлих становить на кінець періоду моделювання 2,67% (26,6 тис.ос.), що знаходиться в межах середнього рівня смертності.

Проведемо моделювання для профілактичних заходів, направлених на підвищення імунітету населення. Основою таких заходів для COVID-19 є проведення вакцинації.

Вплив імунітету на динаміку епідемії реалізується, перш за все, за рахунок зміни ефективної швидкості передачі R_0 , яка визначається в моделі як "середнє число інфікованих від одного хворого". Зменшення значення R_0 досягається за рахунок впливу рівня колективного імунітету. По-перше, імунні особи можуть бути менше чутливими до інфекції, по-друге, у них

може бути знижена заразність (інфекційність), в-третьох, часта важких форм для них може бути нижче, ніж для неімунних.

Внаслідок цього згідно проведених досліджень знижується кількість смертельних випадків і коефіцієнт смертності буде становити 2,5%. Також внаслідок проведення вакцинації для 50% населення репродуктивне число R_0 знижується на 45% і становитиме 1,56.

Результати моделювання розвитку ситуації в таких умовах наведені на рис.3.7.

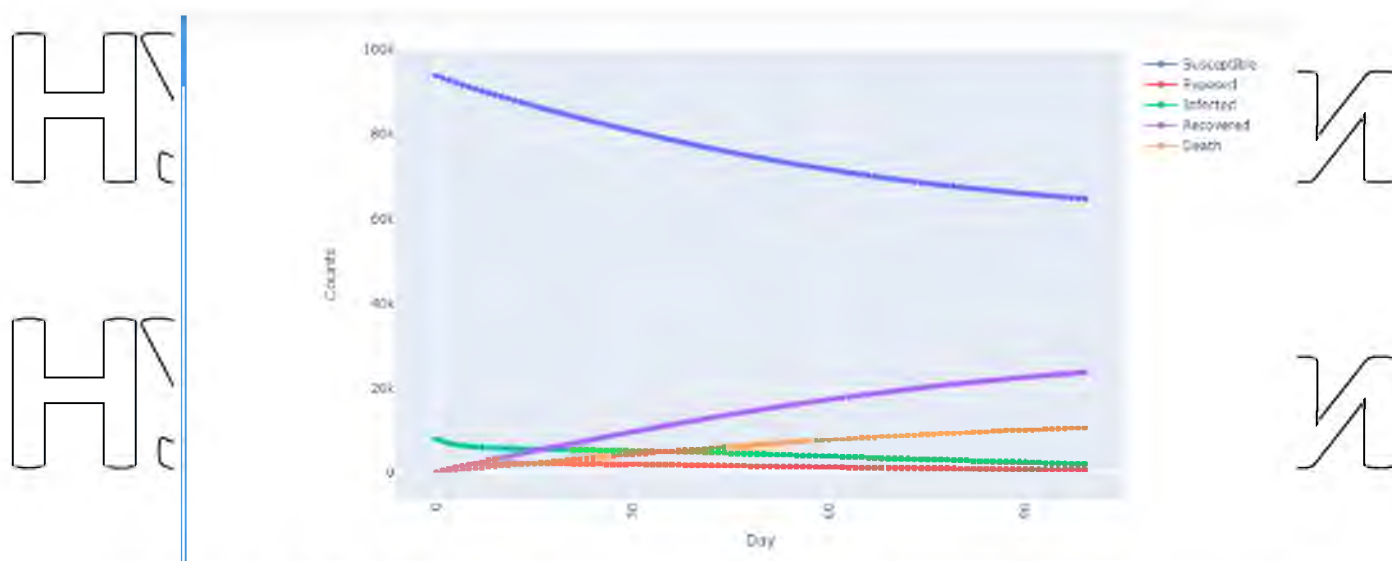


Рисунок 3.7 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при проведенні вакцинації населення

Аналіз результатів моделювання свідчить про невинне зменшення кількості інфікованих осіб у часі. Також відбувається суттєве зменшення кількості осіб, що захворіли, та тих, що померли. Загальна кількість померлих через 3 місяці моделювання становить 10% (10,3 тис. ос.).

Подальший розвиток процесу (рис.3.8) свідчить про те, що кількість померлих зросла до 13,3 тис.ос., а кількість інфікованих зменшується майже до 0. Кількість людей, сприйнятливих до зараження з 8-го місяця майже не змінюється і залишається на рівні 58,9 тис.ос.

Отже, можна стверджувати, що відбувається поступове набуття колективного імунітету.

НУБІП України

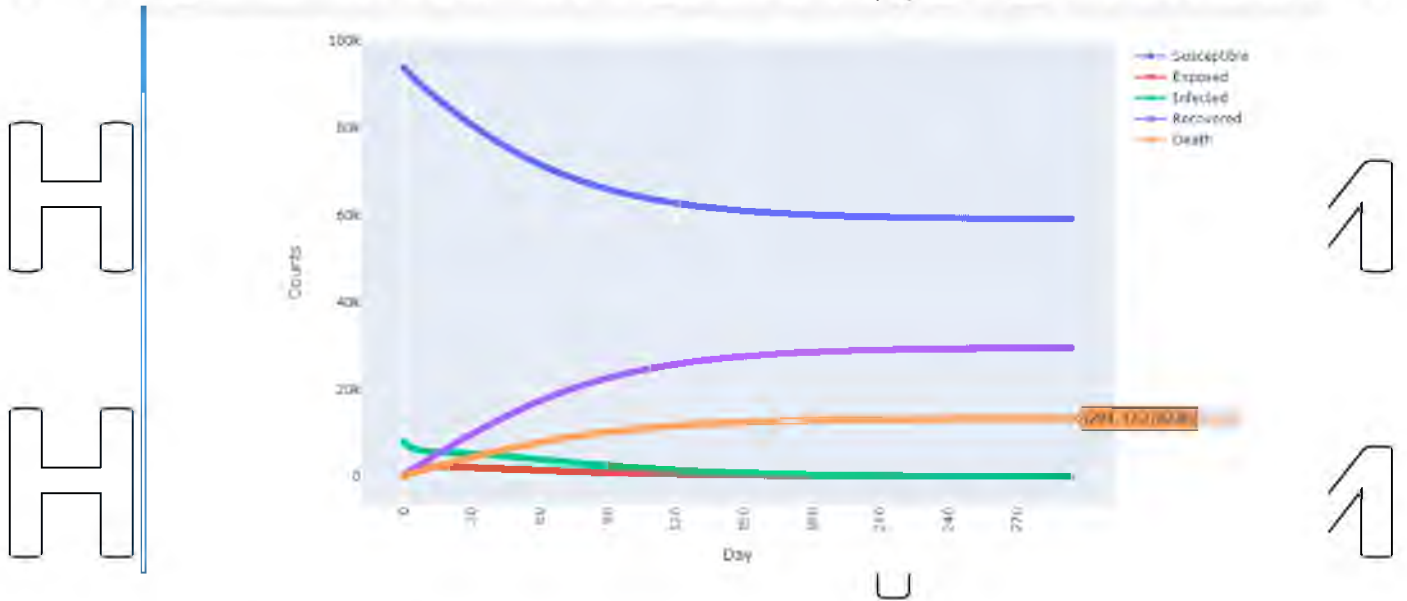


Рисунок 3.8 – Збільшення періоду моделювання розповсюдження COVID-19

при проведенні вакцинації населення

НУБІП України

Для великої субпопуляції результати моделювання наведені на рис.3.9.

Отримані результати свідчать, що навіть через 10 місяців ситуація з

розповсюдженням вірусу залишається нестабільною. Відбувається постійне

зростання кількості захворювань та кількості померлих. Загальна кількість

померлих становить 5,6% (56,1 тис.ос.), що є зрівнянним зі смертністю від

інших хвороб.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

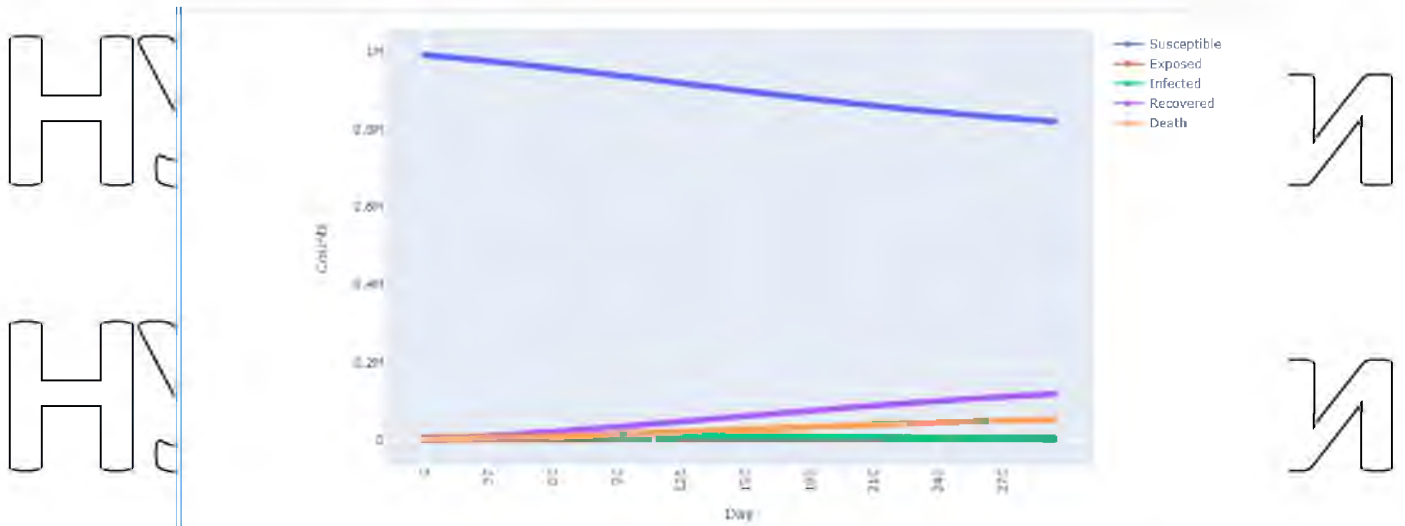


Рисунок 3.9 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при проведенні вакцинації населення в умовах великої популяції

Продовження періоду моделювання свідчить, що при несеохоплюючій вакцинації ситуація стабілізується лише через 500 днів (рис.3.10).

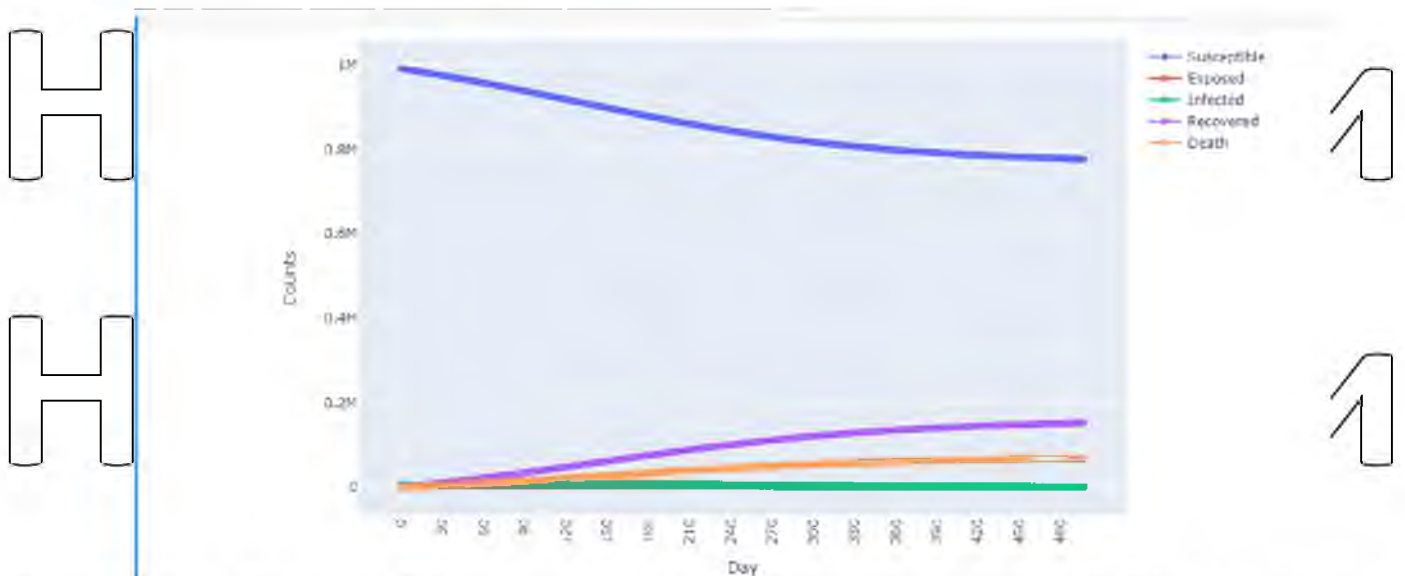


Рисунок 3.10 – Збільшення періоду моделювання розповсюдження COVID-19 при проведенні вакцинації населення для великої субпопуляції

Проведемо моделювання за умови вакцинації 75% населення репродуктивне число зменшується до 0,86 для великої субпопуляції. Результати представлені на рис.3.11.

Результати моделювання свідчать, що відбувається контроль ситуації над розповсюдженням інфекції. Кількість померлих складає 5,5%. Розмноження інфекції не відбувається, кількість інфікованих становить на кінець періоду 488 ос. Стабілізація ситуації відбувається на 4-й місяць початку процесу (рис.3.12).

Simulation of COVID Model



Рисунок 3.11 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 75% населення в умовах великої популяції

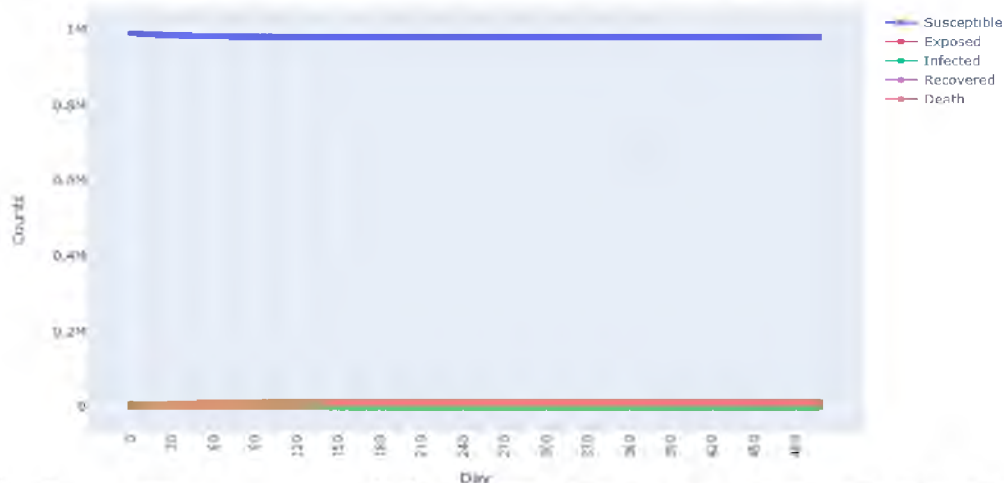


Рисунок 3.12 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 75% населення в умовах великої популяції (період моделювання 500 днів)

3.3. Оптимізація задачі вибору стратегії протидії епидемії COVID-

19

Розробка оптимальних стратегій протидії коронавірусній інфекції повинна ґрунтуватися на аналізі можливої поведінки людей. Відповідна поведінка включає готовність застосувати певний тип засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і рівень дотримання вимог соціального дистанціювання (карантин, ізоляція, блокування...), згоду на вакцинацію.

Тому розробка стратегій протиепідемічних заходів для боротьби з інфекційними хворобами такими, як пандемія COVID-19 повинна включати в аналіз відомі поведінкові тенденції постраждалого населення. Особливу цінність мають інструменти, які можуть перетворити певний рівень зміни поведінки на зміни рівня зараження. Така інформація може дозволити політикам оцінити користь для охорони здоров'я, яку можна отримати від ресурсів, витрачених на придбання та накопичення запасів ЗІЗ, освіти населення та виконання правових розпоряджень.

Проведене моделювання дає змогу відповісти на питання доцільності та оптимальної тривалості карантину, спільного ефекту від застосування обмежувальних заходів та проведення вакцинації.

Аналіз прогнозів розвитку коронавірусної хвороби показує, що відсутність будь-яких дій з боку органів держави щодо стримування розповсюдження епидемії призводить до формування колективного імунітету, однак це відбувається за рахунок високої смертності від хвороби. Також спостерігається значна кількість тих, що захворіли. Особливістю коронавірусної інфекції є можливість розвитку важких наслідків, тому в майбутньому багато осіб, що перехворіли на COVID-19 можуть мати проблеми зі здоров'ям. В сучасному світі для будь-якої держави така ситуація є неприйнятною.

Подальший аналіз результатів моделювання показує, що для невеликих субпопуляцій жорсткий карантин не призводить до повного контролю над

хворобою. Ситуація стабілізується лише через 7 місяців після ведення жорстких обмежувальних заходів, що для невеликих регіонів може стати катастрофою в соціально-економічному плані. Проведення вакцинації для 50% починає стабілізувати ситуація через 6 місяців після її початку.

Найкращим варіантом було б проведення як мінімум 75% вакцинації (рис.3.13). Тоді стабілізація та контроль над ситуацією відбудеться через 3 місяці від початку процесу. Однак вартість вакцин, неорганізованість населення не дають можливості реалізувати даний сценарій.

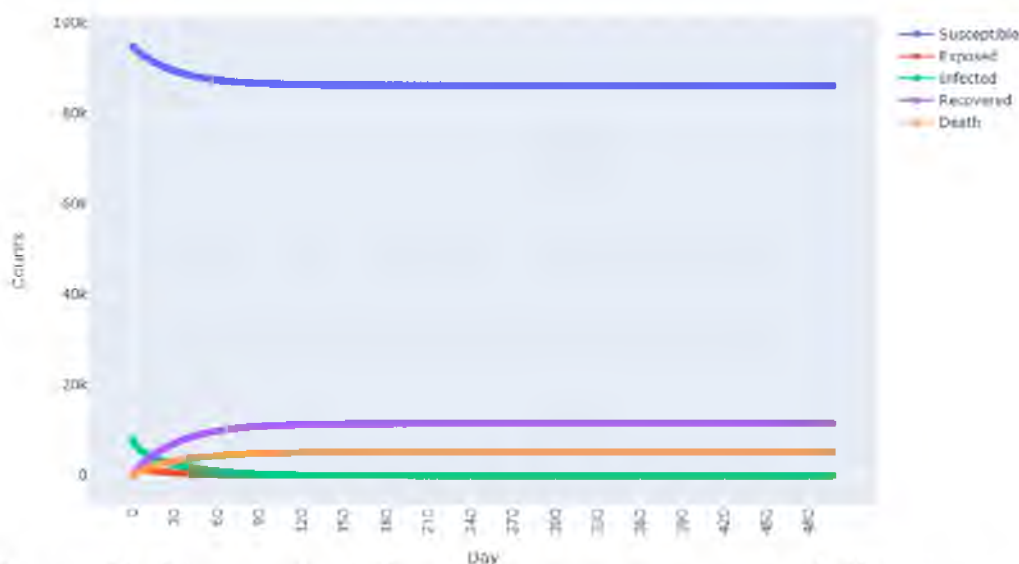


Рисунок 3.13 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 75% населення в умовах малої популяції

Розглянемо сценарій застосування карантинних обмежень та вакцинації 50% населення (рис.3.14)

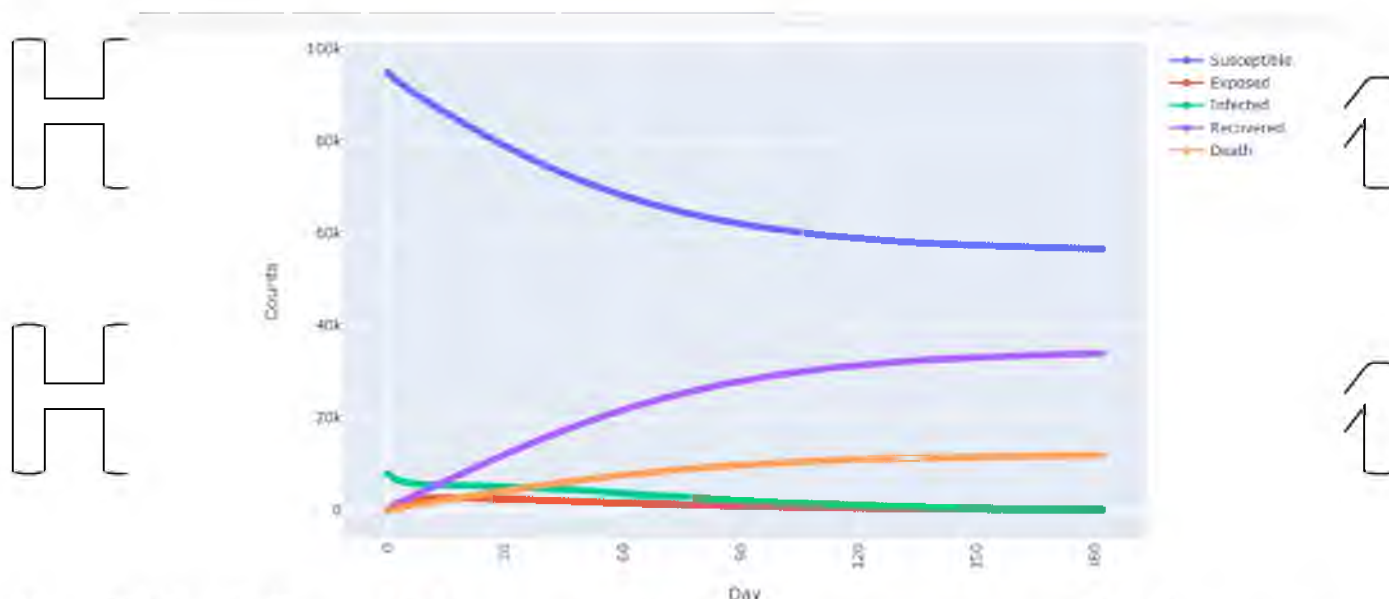


Рисунок 3.14 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 50% населення в умовах карантинних обмежень

Аналіз результатів моделювання свідчить, що ситуація щодо смертельних випадків стабілізується через 4 місяці процесу. Їх загальна кількість становить 1,9 тис.ос. Зменшення інфікованих та безсимптомних осіб відбувається вже через місяць після впровадження таких заходів. Тому оптимальним варіантом протиепідемічних заходів для невеликої субпопуляції є проведення вакцинації на рівні 50% та встановлення карантинних обмежень на 30-45 днів. Такий сценарій дає змогу уникнути небажаних соціально-економічних наслідків і, в той же час, зберегти здоров'я та життя населення субрегіону.

Аналіз сценаріїв розвитку ситуації для великої субпопуляції показує, що проведення карантинних обмежень без використання вакцинації є доволі неефективним. Навіть на 8-му місяці карантину система не буде перебувати в стані стабільності, і кількість тих, що захворіли буде зростати. Аналогічно проведення вакцинації для 50% населення надто довго врівноважує систему.

Лише вакцинація понад 75% населення може призвести до необхідного ефекту, проявлення якого можна спостерігати більше, ніж через рік. Такий

ефект пов'язаний з тим, що велика субпопуляція є жорсткою системою з математичної точки зору, тому жоден з заходів не

Розглянемо поєднання карантинних заходів та вакцинації населення на рівня 50% та 75%.

Результат моделювання розповсюдження захворювання при вакцинації населення 50% та при карантинних обмеженнях наведений на рис.3.15.

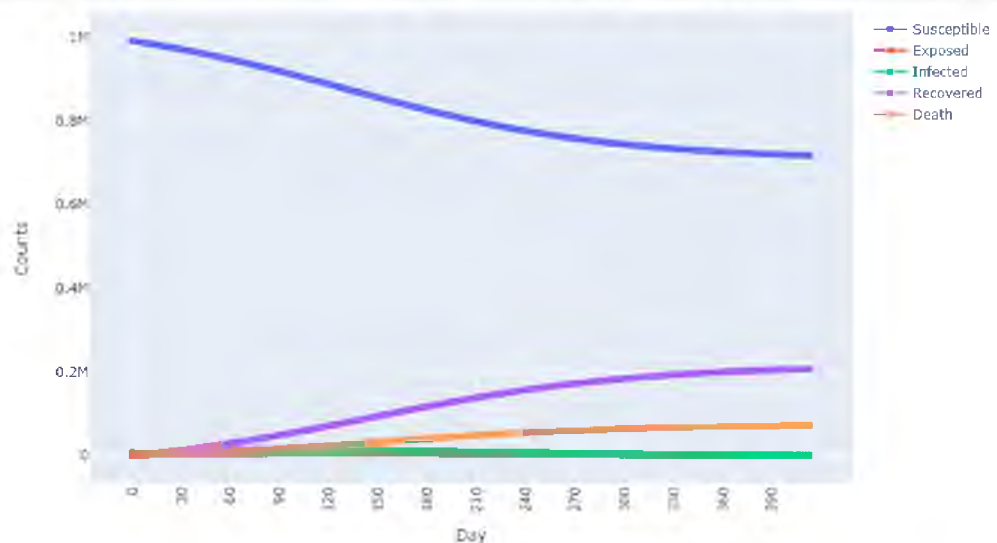


Рисунок 3.15 – Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 50% населення в умовах карантинних обмежень (велика субпопуляція)

Аналіз результатів свідчить, що, не зважаючи на підвищення стійкості популяції до хвороби, процес захворювання стає відносно контрольованим

лише через 11 місяців після початку. Однак, загальна частка померлих

(1,2%), навіть в цьому випадку, є співставною з іншими небезпечними хворобами.

Результати моделювання розповсюдження хвороби для великої субпопуляції з рівнем вакцинації 75% і карантинними заходами наведений на

рис.3.16

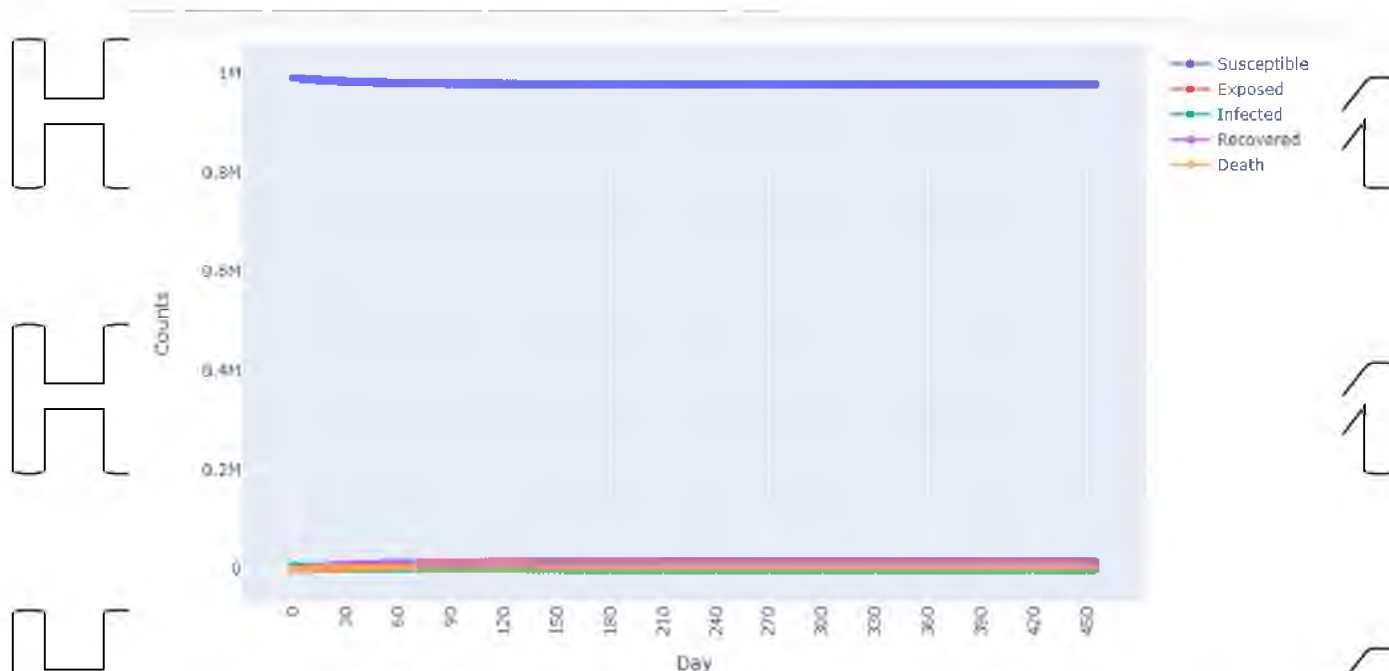


Рисунок 3.16 - Моделювання розповсюдження COVID-19 при вакцинації 75% населення в умовах карантинних обмежень (велика субпопуляція)

Отримані результати свідчать, що в результаті масової вакцинації стабілізація ситуації відбувається вже через місяць після початку процесу.

Отже, оптимальною стратегією для великих субпопуляцій є вакцинація на рівні не менше 75% населення даного регіону та проведення режимно-обмежувальних заходів протягом першого місяця початку епідемії.

Зауважимо, що запропоновані оптимальні стратегії не можуть бути реалізовані без застосування заходів, які можуть лише опосередковано вплинути на розвиток епідемії. Вони направлені на визначення початку епідемічної ситуації.

Необхідно докладати цілеспрямованих зусиль для посилення скринінгу, а сферу виявлення слід поширити на тісні контакти хворих та безсимптомних інфікованих осіб, ключові території та ключові групи. У

поєднанні з фактичною ситуацією повернення на роботу, виробництво та навчання/потрібно посилювати моніторинг ключових міст, ключових людей

і ключових місць, щоб виявити приховані небезпеки в найбільшій мірі. Важливим є організаційні заходи щодо запобігання транскордонному

імпорту та експорту епідемічної ситуації та проведіть тестування нуклеїнової кислоти для всього персоналу, який приїжджає.

Після виявлення безсимптомних пацієнтів їх слід суворо ізолювати та вести відповідно до вимог до інфікованих, а за тісними контактами слід проводити відповідне медичне спостереження в ізоляції. При появі симптомів під час ізоляції їх слід негайно доставити до призначених медичних закладів для лікування.

Необхідно проводити популяризацію знань про профілактику епідемій, проводити широке навчання та вдосконалювати здатність до профілактики, підвищувати рівень персоналу з боротьби з хворобами, медичного персоналу та громадських працівників.

Необхідно проводити різні кампанії щодо поширення знань про здоров'я в кожній сім'ї, для кожної людини, формувати здоров'я та цивілізований, здоровий спосіб життя, підвищувати рівень психічного здоров'я та санітарної грамотності.

Удосконалення плану профілактики та лікування, посилення скринінгу та моніторингу, посилення управління та лікування, а також посилення групової профілактики та групового контролю тощо, активно викопуючи приховану безсимптомні інфекції для запобігання подальшій передачі, досягнуто мети профілактики та контролю безсимптомних інфекцій.

Висновки до розділу 3

В даному розділі було проаналізовано особливості захворювання на коронавірусну інфекцію.

Було проведене моделювання різних сценаріїв застосування протиепідемічних заходів. На основі отриманих результатів розроблені оптимальні сценарії боротьби з коронавірусною інфекцією

ВИСНОВКИ

НУБІП України

Наприкінці 2019 р. у Китайській Народній Республіці стався спалах

нової коронавірусної інфекції з епіцентром у м. Ухань. Всесвітня організація охорони здоров'я 11 лютого 2020 р. надала цій інфекції офіційну назву –

НУБІП України

COVID-19 ("Coronavirus disease 2019"), а Міжнародний комітет із таксономії вірусів 11 лютого 2020 р. дав збуднику назву – SARS-CoV-2. Захворювання

швидко поширилося планетою з активним занесенням його збудника на територію всіх країн, які були включені в глобальну світову економіку.

НУБІП України

Прийняті різними країнами контрзаходи протидії інфекції могли мати різний ефект. Доволі часто вони викликали у населення країни несприйняття та відторгнення, тому визначення найкращої комбінації таких заходів є

важливою задачею для уряду будь-якої країни.

НУБІП України

В дані дипломні роботі досліджувались різні комбінації протиепідемічних заходів для виявлення тих варіантів, які забезпечать стабілізацію ситуації з розповсюдження вірусу за найменший термін. Були отримані такі результати.

1. Були визначені етапи розвитку епідемії, їх основні характеристики. Було з'ясовано, що кожна епідемія характеризується збудником, джерелом інфекції, шляхами передачі збудника.

НУБІП України

2. Кожна епідемія впливає на різні аспекти життя суспільства, починаючи від погіршення стану здоров'я конкретної людини та закінчуючи погіршенням соціально-економічної ситуації суспільства. Для сучасної держави, яка дотримується демократичних цінностей, питання збереження здоров'я нації є пріоритетним, тому її зусилля повинні бути спрямовані на

НУБІП України

вирішення проблеми епідемії.

3. Була проаналізована історія розвитку коронавірусної хвороби, визначено її небезпечність та сучасна ситуація в світі. Аналіз показує, що, незважаючи на те, що епідемія триває 2 роки, питання щодо протидії залишається актуальним, оскільки спалахи продовжують спостерігатися.

НУБІП України

4. Були проаналізовані моделі, які застосовуються для аналізу та прогнозування розвитку різних епідемій. Сучасна епідеміологія намагається залучити весь спектр математичних інструментів. Більшість математичних методів, як і будь-який інструмент, має свої переваги та недоліки. Для аналізу різних епідемій вдало використовуються аналітичні методи на основі диференціальних рівнянь, тобто популяційні моделі. Такі моделі враховують особливості розвитку захворювань.

5. Було проведено моделювання розвитку епідемії коронавірусної хвороби з різними умовами застосування протиепідемічних заходів. Було показано, що відмова від всіх видів епідеміологічної боротьби призводить до великої кількості смертей в ході даної епідемії. Основними заходами, що досліджувались були вакцинація та карантин. Проведене моделювання показало, що їх окреме використання не є ефективним для стабілізації розвитку коронавірусної епідемії.

6. Запропоновано оптимальні стратегії застосування комбінації заходів боротьби з епідемією, які відрізняються для субпопуляцій різних розмірів.

Можливі шляхи подальшого дослідження полягають у вдосконаленні математичних моделей для аналізу та оптимізації боротьби з COVID-19

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

НУБІП України

1. Андрейчин М. А., Василюшин З. П., Виноград Н. О. Епідеміологія / за ред. І. П. Колеснікової. Вінниця: Нова Книга, 2012. 576 с.

2. Андрійчук О.М. Епідеміологія вірусних інфекцій. навч. посіб. Київ: ЦОП «Глобус». 2014. 256 с.

НУБІП України

3. Бейли Н. Математика в биологии и медицине. Москва: "МИР", 1970. С. 326.

4. Боев Б. В. Современные этапы математического моделирования процессов развития и распространения инфекционных заболеваний //

НУБІП України

Эпидемиологическая кибернетика: модели, информация, эксперименты. Москва, 1991. С. 6-13.

5. Бородулин А. И., Десятков Б. М., Шабанов А. Н., Ярыгин А. А. Статистическая модель эпидемического процесса. *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2007. Т.10, №2. С. 23-30

НУБІП України

6. Голубовська О. А., Андрейчин М. А., Шкурба А. В. Інфекційні хвороби. Київ: ВСВ "Медицина", 2012. 728 с.

7. Гоц Ю.Д., Колеснікова І.П., Мохорт Г.А. Епідеміологія. Київ: Видавничий дім Асванія, 2007. 358 с.

НУБІП України

8. Гриценко В., Белов В., Котова А, Пустовойт О. Здоров'я людини як багатоаспектна проблема // Вісник Національної академії наук України, 2006. № 6. С.51-56.

9. Громадське здоров'я: підручник. / В. Ф. Москаленко та ін., Вінниця: «Нова книга», 2013. 560 с.

НУБІП України

10. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Москва: Финансы и статистика, 1986. Т.1. 365 с.; Т.2. 379 с.

11. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. Учеб. пособие. Москва: Финансы и статистика, 2003. 416 с.

НУБІП України

12. Основи законодавства України про охорону здоров'я: Закон України від 19 листопада 1992 р. Відомості Верховної Ради України, 1993. № 4. С. 19. [in Ukrainian].

13. Прогнозування процесів на основі моделювання часових рядів / П. І. Бідюк та ін. ; Київ: КНУТД, 2017. 323 с.

14. Проект для работы с Python URL: <https://pyprog.pro/> (дата звертання 5.09.2022)

15. Сідий О.В. Поняття здоров'я як особистого немайнового блага фізичної особи. *Nashe pravo*. 2016. № 1. С. 58-61.

16. Соціальна медицина та організація охорони здоров'я/ заг. ред. Ю.В.Вороненка. Тернопіль: "Укрмедкнига", 2000. 680 с.

17. Справочник Python URL: <https://codercamp.ru/documentation/python> (дата звертання 5.11.2021)

18. Статут (Конституція) Всесвітньої організації охорони здоров'я від 22 липня 1946 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_599.

19. Bao L. A new infectious disease model for estimating and projecting HIV/AIDS epidemics. *Transmitted Infections*. 2012. Vol. 88, Suppl. 2. P. 58–64.

20. Boyle J. R., Sparks R. S., Keijzers G. B., Crilly J. L., Lind J. F., Ryan L. M. Prediction and surveillance of influenza epidemics. *Medical Journal of Australia*. 2011. Vol. 194, № 4. P. S28–S33.

21. Britton T. Stochastic epidemic models: a survey. Stockholm University, 2009 URL: <https://arxiv.org/pdf/0910.4443.pdf>. (дата звернення 11.09.2022)

22. Cascella M et. al., Features, Evaluation and Treatment Coronavirus (COVID-19), 2020 18p.

23. Coronavirus (COVID-19) Testing, Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/coronavirus-testing> (Last accessed: 28.09.2022).

24. Coronavirus Cases, Worldometer. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/coronavirus-cases/#serious-critical> (дата звернення: 27.09.2022).

25. Coronavirus Incubation Period, Worldometer. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/coronavirus-incubation-period/> (дата звернення: 27.09.2022).

26. Coronavirus pandemic – Country comparisons, Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/coronavirus-country-comparisons#confirmed-cases> (Last accessed: 28.09.2022).

27. Debbia E.A. Epidemiology of major respiratory pathogens J. Chemother. 2001. № 1. P. 205-210.

28. Department of Health (DH). Pandemic H1N1 209 Influenza: Clinical management guidelines for adults and children. URL: http://www.dh.gov.uk/en/Publications and statistics/Publications/Publications Policy and Guidance/DH_107769 (дата звернення 11.09.2022)

29. Fanelli D. Piazza F. Analysis and forecast of COVID-19 spreading in China, Italy and France. *Chaos Soliton Fract.* 2020. №134, 109761. doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109761 (дата звернення 10.09.2022)

30. Heymann D. L. Gastroenteritis. *Control of Communicable Diseases Manual*, (18th ed.), American Public Health Association. 2004. P. 224-227.

31. Hossain T., Miah M., Hossain B. Numerical Study of Kermack-Mckendrick SIR Model to Predict the Outbreak of Ebola Virus Diseases Using Euler and Fourth Order Runge-Kutta Methods, 2017, 21 p.

32. Keeling M.J., Danon L. Mathematical modelling of infectious diseases, *British Medical Bulletin*, 92(1) (2009) 33-42 DOI: 10.1093/bmb/ldp038 . (дата звернення 11.09.2022)

33. Kermack W.O, McKendrick A.G., A contribution to the mathematical theory of epidemics, 1927, p. 700-721.

34. Mathematical Models in Infectious Disease Epidemiology. URL: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:q6gAwgHv6aAJ:> (Дата звернення 12.09.2022)

35. McClain J.O. Dynamics of exponential smoothing with trends and seasonal terms. *Management Science*. Vol.20. PP. 1974. 1300-1304.

36. Norman Bailey. The Mathematical Theory of Infectious Diseases and its Applications. Griffin, London, 1975.

37. Pandemic: WHO declares coronavirus a major global threat, Aljazeera. URL: <https://www.aljazeera.com/news/2020/03/pandemic-declares-coronavirus-major-global-threat-200311170432758.html> (Дата звернення 19.09.2022).

38. Past pandemics. World Health Organization URL: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/communicable-diseases/influenza/pandemic-influenza/past-pandemics> (дата звернення 17.09.2022).

39. Peng Zhou et. al., A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin, 2020. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7095418/> (дата звернення: 18.09.2022).

40. Principles of Epidemiology in Public Health Practice URL: <https://www.cdc.gov/csels/dsepd/ss1978/lesson1/section1.html> (дата звернення 1.09.2022)

41. Python3 для начинающих URL: <https://pythonworld.ru/> (дата звертання 15.09.2022)

42. Ruiz-Palacios G. Safety and efficacy of an attenuated vaccine against severe rotavirus gastroenteritis. *N. Engl. J. Med.* 2006. Vol. 354. P. 11-22.

43. Sameni R. Mathematical Modeling of Epidemic Diseases; A Case Study of the COVID-19 Coronavirus. arXiv:2003.11371. 2020.

44. Serfling R.E. Methods for current statistical analysis of excess pneumonia-influenza deaths. *Public Health Rep.* 1963, p. 494-506.

45. Syafruddin S. Salmi Md. A sir model for spread of dengue fever disease (simulation for south sulawesi indonesia and selangor malaysia), 2015.

46. Tian-Mu Chen et. al., A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus, 2020. URL: <https://icpjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40249-020-00640-3#ref-CR2> (дата звернення: 19.09.2022).

47. Wiens J, Shenoy S.E., Clinical Infectious Diseases, 2018, p. 149-153.

48. Yan B. et. al., An Improved Method for the Fitting and Prediction of the Number of COVID-19 Confirmed Cases Based on LSTM, 2020, 21 p.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

Додаток А

Лістинг розроблених блоків

```

import os

```

```

import sys
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd

```

```

from scipy.integrate import odeint
import plotly.graph_objects as go
import plotly.io as pio

pio.renderers.default = "notebook"

```

```

%matplotlib inline
plt.style.use('ggplot')

from IPython.display import HTML

```

```

from ipywidgets.widgets import interact, IntSlider, FloatSlider, Layout

style = {'description_width': '100px'}
slider_layout = Layout(width='99%')

def ode_model(z, t, beta, sigma, gamma, mu):

```

```

"""
Reference https://www.idmod.org/docs/hiv/model-seir.html
"""

```

S, E, I, R, D = z

```

N = S + E + I + R + D
dSdt = -beta*S*I/N

```



```

dEdt = beta*S*I/N - sigma*E
dIdt = sigma*E - gamma*I - mu*I
dRdt = gamma*I

```

```
dDdt = mu*I
```

```

return [dSdt, dEdt, dIdt, dRdt, dDdt]
def ode_solver(t, initial_conditions, params):
    initE, initI, initR, initN, initD = initial_conditions

```

```
beta, sigma, gamma, mu = params
```

```

initS = initN - (initE + initI + initR + initD)
res = odeint(ode_model, [initS, initE, initI, initR, initD], t, args=(beta, sigma, gamma, mu))
return res

```

```

# ref: https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.01.20049825v1.full.pdf
initN = 13000000

```

```
# S0 = 966000000
```

```

initE = 1
initI = 1
initR = 0

```

```
initD = 0
```

```

sigma = 1/5.2
gamma = 1/2.9
mu = 0.034

```

```
R0 = 4
```

```

beta = R0 * gamma
days = 180

```

```

def main(initE, initI, initR, initD, initN, beta, sigma, gamma, mu, days):
    initial_conditions = [initE, initI, initR, initN, initD]
    params = [beta, sigma, gamma, mu]

    tspan = np.arange(0, days, 1)

    sol = ode_solver(tspan, initial_conditions, params)
    S, E, I, R, D = sol[:, 0], sol[:, 1], sol[:, 2], sol[:, 3], sol[:, 4]
    np.savetxt("grvi.csv", sol, delimiter=",")

    # Create traces
    fig = go.Figure()
    fig.add_trace(go.Scatter(x=tspan, y=S, mode='lines+markers', name='Susceptible'))
    fig.add_trace(go.Scatter(x=tspan, y=E, mode='lines+markers', name='Exposed'))

    fig.add_trace(go.Scatter(x=tspan, y=I, mode='lines+markers', name='Infected'))
    fig.add_trace(go.Scatter(x=tspan, y=R, mode='lines+markers', name='Recovered'))
    fig.add_trace(go.Scatter(x=tspan, y=D, mode='lines+markers', name='Death'))

    if days <= 30:
        step = 1
    elif days <= 90:
        step = 7
    else:
        step = 30

    # Edit the layout
    fig.update_layout(title='Simulation of GRVI Model',
                      xaxis_title='Day',

```

```

yaxis_title='Counts',
title_x=0.5,
width=900,height=600
)

```

```

fig.update_xaxes(tickangle=90, tickformat=None, tickmode='array', tickvals=np.arange(0,
days+1, step))
if not os.path.exists("images"):
os.mkdir("images")

```

```

fig.write_image("images/grvi_simulation.png")
fig.show()
interact(main,

```

```

initE=IntSlider(min=0, max=100000, step=1, value=initE, description='initE', style=style,
layout=slider_layout),
initI=IntSlider(min=0, max=100000, step=10, value=initI, description='initI', style=style,
layout=slider_layout),

```

```

initR=IntSlider(min=0, max=100000, step=10, value=initR, description='initR', style=style,
layout=slider_layout),
initD=IntSlider(min=0, max=100000, step=10, value=initD, description='initD', style=style,
layout=slider_layout),

```

```

initN=IntSlider(min=0, max=13800000, step=1000, value=initN, description='initN',
style=style, layout=slider_layout),

```

```

beta=FloatSlider(min=0, max=4, step=0.01, value=beta, description='Infection rate',
style=style, layout=slider_layout),
sigma=FloatSlider(min=0, max=4, step=0.01, value=sigma, description='Incubation rate',
style=style, layout=slider_layout),

```

```

gamma=FloatSlider(min=0, max=4, step=0.01, value=gamma, description='Recovery rate',
style=style, layout=slider_layout),

```

`mu=FloatSlider(min=0, max=1, step=0.005, value=mu, description='Mortality rate',`
`style=style, layout=slider_layout),`
`days=IntSlider(min=1, max=300, step=7, value=days, description='Days', style=style,`
`layout=slider_layout)`

);

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України